



IMPACTO DA SECAGEM POR REFRACTANCE WINDOW EM MICRORGANISMOS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

IMPACTO DEL SECADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA SOBRE LOS MICROORGANISMOS: UNA REVISIÓN BIBLIOMÉTRICA

IMPACT OF REFRACTANCE WINDOW DRYING ON MICROORGANISMS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Apresentação: Comunicação Oral

Grazielle Alves Carneiro¹; Anna Santos Costa²; Nathiele Fernanda Moreira Pereira Barbosa³ Roseane Macena de Jesus⁴; Angelise Durigon⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/VIICIAGRO.0063>

RESUMO

Os métodos de secagem garantem a conservação de alimentos aumentando a sua vida útil, uma vez que reduz a atividade de água e dificulta o crescimento de microrganismos, e a ocorrência de reações químicas e enzimáticas responsáveis pela deterioração do produto. No entanto, em alguns alimentos deseja-se que os microrganismos benéficos permaneçam ativos após o processo de secagem, o que torna-se um grande desafio para a indústria, especialmente àquelas que utilizam a secagem térmica. Nesse contexto, a secagem por Refractance Window Drying (RWD) tem se destacado como uma tecnologia promissora para a preservação de alimentos sensíveis ao calor, incluindo produtos contendo microrganismos de interesse industrial e funcional. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi realizar uma revisão bibliométrica, conduzida pelo *Methodi Ordinatio*, sobre como os estudos reportam o impacto do RWD em microrganismos contidos nos alimentos que foram desidratados por esse método. Além disso, ranquear os artigos de impacto, para assim identificar os principais eixos temáticos. As buscas foram realizadas nas bases *Web of Science* e *Scopus*, utilizando palavras-chaves relacionadas ao tema, combinadas com operadores booleanos. Após a aplicação dos filtros (tipo de documento: artigos e revisões; período: 2016–2026) e do método de seleção escolhido, foram selecionados 15 documentos. O tratamento dos dados foi realizado com os softwares Excel 365, RStudio (2025.05.0) e o pacote Bibliometrix, via interface gráfica Biblioshiny (5.0). Os resultados evidenciaram três eixos temáticos predominantes: viabilidade probiótica, microencapsulamento e estabilidade durante o armazenamento. De modo geral, o RWD demonstrou capacidade de preservar diferentes grupos microbianos, incluindo bactérias lácticas, leveduras e probióticos encapsulados, produzindo pós com baixa umidade e propriedades físicas adequadas. Embora alguns estudos tenham relatado sobrevivência celular inferior à obtida por liofilização, o método frequentemente apresentou desempenho superior ao *spray drying*, especialmente pelo menor tempo de processamento e menor gasto energético. Além disso, fatores como temperatura de secagem, composição da matriz encapsulante e condições de armazenamento foram identificados como determinantes para a manutenção da viabilidade microbiana nos produtos secos. Sendo assim, o RWD representa uma alternativa tecnicamente viável para a produção de alimentos funcionais e ingredientes contendo culturas microbianas viáveis, além de potencial para apoiar práticas mais sustentáveis de processamento

¹ Discente do curso de Engenharia de Alimentos, DTA - UFS, grazielle.carneiro.25@gmail.com

² Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, PROCTA - UFS, annasantos616@gmail.com

³ Discente do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, PROCTA - UFS, nathielefernandab@gmail

⁴ Discente do curso de Engenharia de Alimentos, DTA - UFS, roseanemjufs@gmail.com

⁵ Docente do curso de Engenharia de Alimentos, DTA -UFS, angelise@academico.ufs.br.

de alimentos, alinhando-se aos ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis).

Palavras-Chave: *Cast-tape drying*, *conductive hydro-drying*, bibliometria, microrganismos, viabilidade celular.

RESUMEN

Los métodos de secado garantizan la conservación de los alimentos al prolongar su vida útil, ya que reducen la actividad de agua y dificultan el crecimiento de microorganismos, así como las reacciones químicas y enzimáticas responsables del deterioro del producto. Sin embargo, en algunos alimentos se desea que los microorganismos beneficiosos permanezcan activos después del proceso de secado, lo que representa un gran desafío para la industria alimentaria, especialmente para aquellas que utilizan tecnologías de secado térmico. En este contexto, el secado por Refractance Window Drying (RWD) se ha destacado como una tecnología prometedora para la preservación de alimentos sensibles al calor, incluidos aquellos que contienen microorganismos de interés industrial y funcional. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue realizar una revisión bibliométrica, basada en el método *Methodi Ordinatio*, para analizar cómo los estudios científicos reportan el impacto del RWD sobre los microorganismos presentes en los alimentos deshidratados mediante este método. Además, se clasificaron los artículos más influyentes con el fin de identificar los principales ejes temáticos de investigación. Las búsquedas se realizaron en las bases de datos *Web of Science* y *Scopus* utilizando palabras clave relacionadas con el tema y combinadas mediante operadores booleanos. Tras la aplicación de los filtros (tipo de documento: artículos y revisiones; período: 2016–2026) y del procedimiento de selección adoptado, se seleccionaron 15 documentos para el análisis. El tratamiento de los datos se llevó a cabo utilizando Excel 365, RStudio (2025.05.0) y el paquete Bibliometrix a través de la interfaz gráfica Biblioshiny (versión 5.0). Los resultados evidenciaron tres ejes temáticos predominantes: viabilidad probiótica, microencapsulación y estabilidad durante el almacenamiento. En general, el RWD demostró capacidad para preservar diferentes grupos microbianos, incluidas bacterias ácido-lácticas, levaduras y probióticos encapsulados, produciendo polvos con bajo contenido de humedad y propiedades físicas adecuadas. Aunque algunos estudios reportaron una supervivencia celular inferior a la obtenida mediante liofilización, el método mostró con frecuencia un desempeño superior al secado por aspersión (*spray drying*), principalmente debido a su menor tiempo de procesamiento y menor consumo energético. Además, factores como la temperatura de secado, la composición de la matriz encapsulante y las condiciones de almacenamiento fueron identificados como determinantes para el mantenimiento de la viabilidad microbiana en los productos secos. Por consiguiente, el RWD representa una alternativa técnicamente viable para la producción de alimentos funcionales e ingredientes que contienen cultivos microbianos viables, además de poseer potencial para promover prácticas más sostenibles de procesamiento de alimentos. Estas características se alinean con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, especialmente el ODS 2 (Hambre Cero) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables).

Palabras Clave: *Cast-tape drying*; *conductive hydro-drying*; bibliometría; microorganismos; viabilidad celular.

ABSTRACT

Drying methods ensure food preservation by extending shelf life, as they reduce water activity and hinder microbial growth, as well as the chemical and enzymatic reactions responsible for product deterioration. However, in some foods, it is desirable that beneficial microorganisms remain active after the drying process, which represents a major challenge for the food industry, particularly when thermal drying technologies are employed. In this context, Refractance Window Drying (RWD) has emerged as a promising technology for preserving heat-sensitive foods, including products containing microorganisms of industrial and functional interest. Therefore, the aim of this study was to conduct a bibliometric review, guided by the *Methodi Ordinatio* approach, to investigate how scientific studies report the impact of RWD on microorganisms present in foods dehydrated using this method. Additionally, the most influential articles were ranked to identify the main thematic research areas. Searches were performed in the *Web of Science* and *Scopus* databases using keywords related to the topic combined with Boolean operators. After applying the filters (document type: articles and reviews; period: 2016–2026) and the selected screening procedure, 15 documents were retained for analysis. Data processing was conducted using Excel 365, RStudio (2025.05.0), and the Bibliometrix package through the Biblioshiny graphical

interface (version 5.0). The results revealed three predominant thematic areas: probiotic viability, microencapsulation, and storage stability. Overall, RWD demonstrated the ability to preserve different microbial groups, including lactic acid bacteria, yeasts, and encapsulated probiotics, while producing powders with low moisture content and suitable physical properties. Although some studies reported lower cell survival than freeze-drying, RWD frequently outperformed spray drying, particularly due to its shorter processing time and lower energy requirements. Furthermore, drying temperature, encapsulating matrix composition, and storage conditions were identified as key factors influencing microbial viability in dried products. Therefore, RWD represents a technically viable alternative for the production of functional foods and ingredients containing viable microbial cultures, while also supporting more sustainable food processing practices. These characteristics align with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 2 (Zero Hunger) and SDG 12 (Responsible Consumption and Production).

Keywords: *Cast-tape drying; conductive hydro-drying; bibliometrics; microorganisms; cell viability.*

INTRODUÇÃO

A secagem de alimentos é um método de grande importância na indústria agroalimentar e colabora para a produção de alimentos secos e com maior vida útil, pois diminui a atividade da água o que dificulta o crescimento de microrganismos e reações químicas e bioquímicas indesejadas (Alp; Bulantekin, 2021). Além de facilitar o seu armazenamento e transporte, uma vez que não requer cadeia de distribuição refrigerada (Amit et al., 2017). Dentre os métodos de secagem, tem-se *Refractance Window Drying* que é uma tecnologia promissora por combinar alta eficiência térmica, menor tempo de processamento e produzir alimentos com características físico-químicas interessantes (Nindo; Tang, 2007).

O método RWD pode ser considerado uma tecnologia emergente, inovadora e sustentável (Waghmare, 2021). Esse método tem sido eficiente na obtenção de alimentos em pó, flocos e filmes. O RWD utiliza o aquecimento da água como meio de transferência térmica para um suporte em que o alimento será espalhado e seco, e quando comparado aos métodos convencionais, apresenta uma taxa de secagem maior, sendo mais rápida, (Durigon et al., 2016b; Mahanti et al., 2021).

Do ponto de vista microbiológico, o RWD se mostra com grande potencial na conservação dos alimentos, devido a remoção de água que por consequência reduz a atividade de água, criando condições desfavoráveis para o crescimento de microrganismos (Shende; Datta, 2019). De outra forma, o equipamento pode operar em temperaturas reduzidas e devido ao menor tempo de exposição ao calor durante o processo, o método pode favorecer uma maior viabilidade de microrganismos benéficos, como culturas probióticas, e possibilitar a sua utilização para o seu microencapsulamento.

Nesse contexto, investigar o impacto da aplicação da secagem por RWD em microrganismos presentes nos alimentos a serem secos é importante para ampliar a utilização do método e oferecer novas opções de alimentos probióticos. Além disso, o estudo está alinhado ao ODS 2, que enfatiza a redução das perdas de alimentos e a ampliação do acesso a alimentos seguros e nutritivos. Da mesma forma, relaciona-se ao ODS 12, que incentiva padrões sustentáveis de produção e consumo, incluindo a adoção

de processos industriais capazes de reduzir desperdícios e otimizar o uso de recursos naturais e energéticos (Nações Unidas, 2015). Assim, o objetivo do estudo foi realizar uma revisão bibliométrica, conduzida pelo *Methodi Ordinatio*, sobre como os estudos reportam impacto da secagem por *Refractance Window* em microrganismos contidos nos alimentos que foram desidratados por esse método. Além disso, ranquear os artigos de impacto, para assim identificar os principais eixos temáticos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para Nindo e Tang (2007), a secagem de alimentos constitui uma das operações unitárias mais importantes da indústria alimentícia, sendo empregada com o objetivo de reduzir o teor de água dos produtos, aumentar sua vida útil, minimizar perdas pós-colheita e facilitar o armazenamento e transporte

A secagem por RWD também têm sido denominada na literatura por *Cast-tape Drying* e por *Conductive Hydro-Drying* (Durigon et al., 2016a; Frabetti; Durigon; Laurindo, 2018; Preethi et al., 2020; Yoha; Moses; Anandharamakrishnan, 2020b).

A técnica consiste no espalhamento de uma camada fina de polpas ou purês alimentícios sob a face superior de um suporte de filme de poliéster ou fibra de vidro recoberta por teflon. A face inferior é aquecida por água quente ou vapor de água (Frabetti; Durigon; Laurindo, 2018; Nindo; Tang, 2007), que transfere calor por condução, convecção e pequena parte por radiação (<5%) (Durigon et al., 2018; Zotarelli; Carciofi; Laurindo, 2015). O calor passa pelo suporte e chega ao produto alimentício espalhado no suporte. O método apresenta vantagens significativas devido ao baixo impacto térmico e ao curto tempo de secagem (cerca de 3 a 5 minutos) (Raghavi; Moses; Anandharamakrishnan, 2018).

Os efeitos do RWD sobre a sobrevivência microbiana têm sido objeto de investigação em diferentes matrizes alimentares. Em estudo conduzido por Arslan-Tontul et al. (2024), os autores observaram que a aplicação do método resultou em uma redução de 3 log na viabilidade das bactérias ácido-láticas nas amostras de fermento natural tipo 3. Além disso, a menor perda na viabilidade da levedura foi determinada em amostras de massa fermentada espontânea, com 3,5 logaritmos ($p < 0,05$) (Arslan-Tontul et al., 2024), evidenciando que a resposta dos microrganismos ao processo pode variar em função das características da matriz e das condições de fermentação.

Nesse contexto, os microrganismos desempenham papéis importantes na indústria alimentícia, especialmente na produção de alimentos probióticos. A exploração científica dos probióticos e seus efeitos na saúde tem sido de grande interesse na comunidade científica. Os probióticos são classificados na categoria de alimentos funcionais que melhoram o bem-estar geral e previnem doenças. Com a crescente demanda por alimentos funcionais vem junto associado a necessidade de fornecer probióticos por meio de novas matrizes alimentares, e o RWD pode ser uma alternativa para o encapsulamento de probióticos com uma melhor estabilidade.

METODOLOGIA

A revisão bibliométrica foi realizada a fim de avaliar o efeito do *Refractance Window Drying* em microorganismos pelo *Methodi Ordinatio*, de acordo com o proposto por Pagani et al. (2015). O método ranqueia as produções com base no número de citações, ano de publicação e o JIF da revista (fator de impacto), a fim de calcular o índice de relevância dos artigos, conhecido como *InOrdination* (Equação 1). O valor de α pode variar de 0 a 10 e deve ser definido pelos autores, em que valores próximos de 1 favorecem os artigos mais antigos, enquanto valores próximos de 10 favorecem os mais recente.

$$Index\ Ordination = JIF + n^{\circ}\ de\ citações + \alpha * 10 - \alpha * (idade\ do\ artigo) \quad (1)$$

Para obtenção do portfólio de artigos, as palavras-chave foram definidas, assim como os operadores booleanos e as buscas realizadas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. A chave de busca e filtros aplicados estão descritos no Quadro 01.

Quadro 01: Palavras-chaves, operadores booleanos e os filtros utilizados para a pesquisa.

Palavras-chave e operadores booleanos	Filtro	Resultados	Bases
TS= (("refractance window*" OR "refractance-window*" OR "cast tape dry*" OR "cast-tape dry*" OR "conductive hydro dry*" OR "conductive hydro-dry*") AND (microorganism* OR bacteria* OR mold* OR fungi OR probioti*) AND (inactivation OR viability OR reduction OR lethality))	Artigos e artigos de revisão; de 2016 a 2026; inglês	17	Web of Science
TITLE-ABS-KEY(("refractance window*" OR "refractance-window*" OR "cast tape dry*" OR "cast-tape dry*" OR "conductive hydro dry*" OR "conductive hydro-dry*") AND (microorganism* OR bacteria* OR mold* OR fungi OR probioti*) AND (inactivation OR viability OR reduction OR lethality))	Artigos e artigos de revisão; de 2016 a 2026; inglês	17	Scopus

Fonte: Própria (2026)

o valor de $\alpha=8$ foi adotado de modo a priorizar os artigos mais recentes sem desconsiderar totalmente os trabalhos mais antigos. O *JIF* (fator de impacto do periódico) foi obtido por meio das

ferramentas *Journal Citation Reports* da *Clarivate Analytics*. A idade dos artigos foi calculada a partir da subtração entre o ano de publicação do artigo e o ano da busca (2026).

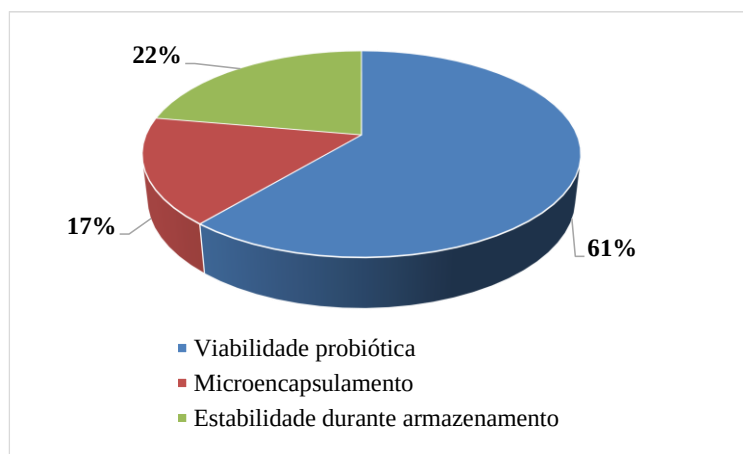
O total de 34 artigos foram exportados, resultado da soma daqueles obtidos da *Web of Science* e da *Scopus*. Com o uso do software *RStudio* (2025.05.0), 14 artigos duplicados foram removidos, e desse resultado, após alinhamento com a leitura dos títulos e resumos, 15 artigos formaram o portfólio final. Para aplicação do *Methodi Ordinatio*, após a busca, os 15 artigos selecionados foram exportados para uma planilha no *Excel* 365. Com todos os dados de JIF, α e a idade do artigo, o *Index Ordinatio* foi calculado para cada artigo e as produções ranqueadas em ordem decrescente. A *Biblioshiny* (5.0), interface gráfica do *Bibliometrix*, foi utilizada para elaboração da nuvem de palavras com as 20 palavras de maior ocorrência definidas pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar o portfólio de publicações (13 artigos de pesquisa e 2 artigos de revisão) foi possível identificar que cerca de 11 estudos visaram explorar o uso do RWD na viabilidade de microorganismos probióticos, 4 artigos apresentaram como objetivo central a estabilidade do microrganismo durante o armazenamento do produto, e 3 estudos avaliaram o uso do RWD em microencapsulamento dos microrganismos.

A Figura 1 ilustra os eixos temáticos dos artigos avaliados. Assim observou-se que os estudos sobre a interação entre a secagem por RWD e microrganismos concentraram-se principalmente em três eixos temáticos: viabilidade probiótica, sendo o eixo de maior ocorrência com 61% dos artigos selecionados. Em seguida o estudo da estabilidade dos microrganismos durante o armazenamento do produto, que compreendeu 22% dos estudos, e por fim, o uso da técnica de secagem para microencapsulamento dos microrganismos, sendo 17% dos artigos selecionados. Dessa forma, os resultados evidenciaram o potencial do RWD como uma alternativa para a produção de alimentos funcionais contendo culturas microbianas viáveis.

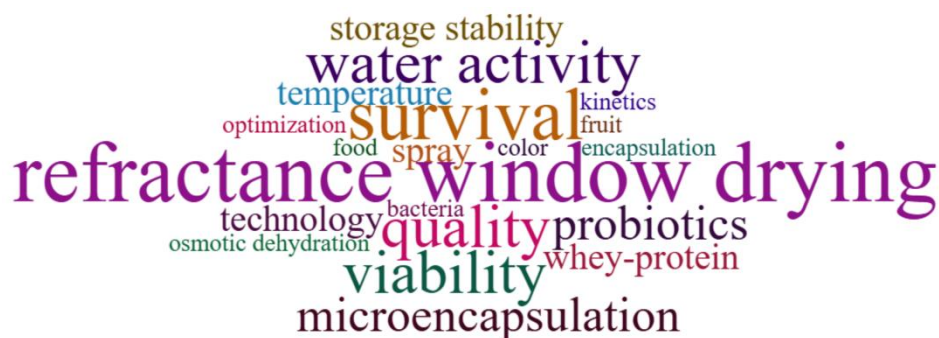
Figura 1 - Eixos temáticos dos artigos ranqueados pelo *Methodi Ordinatio*.



Fonte: Própria (2026)

A nuvem de palavras apresentada na Figura 2 demonstrou as 20 palavras-chaves mais frequentes entre os artigos referente ao impacto da secagem por RWD nos microrganismos.

Figura 2 - Nuvem de palavras.



Fonte: Própria (2026)

Dentre os termos que mais se destacaram na nuvem de palavras-chave foram “Refractance Window Drying”, que é o método estudado pela revisão, “*water activity*”, que se refere a uma importante propriedade termodinâmica do produto e pode ser utilizada como um indicador da disponibilidade de água para o crescimento microbiológico e para a ocorrência de reações químicas e bioquímicas (Shende; Datta, 2019). Além de, “*survival*”, que diz respeito a sobrevivência desses microrganismos, “*osmotic dehydration*”, que consiste na imersão de alimentos em uma solução hipertônica como meio de remoção de água por osmose (Damodoran et al., 2010). As palavras “*probiotics*”, “*storage stability*” e “*viability*” indicam o interesse dos estudos em avaliar a estabilidade dos microrganismos probióticos presentes nos alimentos durante sua vida de prateleira após serem desidratados. Além disso, a palavra “*microencapsulation*” faz referência a técnica de microencapsulação para melhorar a estabilidade

térmica e viabilidade geral dos probióticos, indicando que o RWD foi utilizado em sua realização e possivelmente sua eficiência foi avaliada.

Na Tabela 1 está apresentado o *ranking* dos artigos de acordo com o valor *InOrdinatio* (IO) calculado e o resumo dos resultados obtidos nos estudos.

Tabela 1 - *Ranking* dos trabalhos mais relevantes segundo o *Methodi Ordinatio*.

Ranking	Artigos	Resultados	IO
1	<i>3D printing of encapsulated probiotics: effect of different post-processing methods on the stability of Lactiplantibacillus plantarum (NCIM 2083) under static in vitro digestion conditions and during storage</i> (Yoha et al., 2021)	Para formulações encapsuladas por liofilização, o pós-processamento por liofilização apresentou maior sobrevivência microbiana ($8,23 \pm 0,36 \log_{10}$ UFC/g) em comparação ao RWD ($7,45 \pm 0,43 \log_{10}$ UFC/g) e à secagem com ar quente ($7,21 \pm 0,52 \log_{10}$ UFC/g). Na formulação obtida por secagem por <i>spray drying</i> , o RWD apresentou viabilidade de $6,99 \pm 0,10 \log_{10}$ UFC/g, superior à secagem com ar quente ($6,68 \pm 0,79 \log_{10}$ UFC/g), porém inferior à liofilização ($7,54 \pm 0,53 \log_{10}$ UFC/g). Entretanto, para a formulação por secagem por aspersão/liofilização, o RWD ($8,06 \pm 0,18 \log_{10}$ UFC/g) apresentou resultado próximo ao da liofilização ($8,18 \pm 0,28 \log_{10}$ UFC/g), indicando potencial do método dependendo da estratégia de encapsulamento.	131,6
2	<i>Valorization of fruits, vegetables, and their by-products: drying and bio-drying</i> (Tan et al., 2022)	Entres os resultados do método RWD em diferentes produtos alimentícios, o pó de tomate a 95°C a umidade ficou a umidade de 0,03g/g. Nas fatias de maçã teor de umidade ficou entre 5-6%. No inhame roxo, a 70, 80 e 90 por 40 minutos os pós apresentaram estabilidade microbiológica e atividade de água inferior a 0,35.	84,7
3	<i>Systematic review on refractance window drying for preserving heat sensitive agricultural products</i> (Hoque; Sethi; Padhiary, 2025)	RWD reduziu significativamente a carga microbiana, atingindo uma redução principalmente de <i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella</i> spp. e <i>Listeria monocytogenes</i> de 3 a 4 log. Implicando para a inativação eficiente de patógenos e assim melhorando a vida útil e segurança (Fathi et al., 2022). A inteligência artificial e o aprendizado de máquina aplicados a dados práticos levaram a redução do tempo necessário para a secagem em 20% e aumentou a retenção de vitamina C em 15%, o que representa avanços notáveis tanto em eficiência quanto em qualidade (Bassey; Cheng; Sun, 2021).	76,9

4	<i>Conductive hydro drying through refractance window drying - an alternative technique for drying of Lactobacillus plantarum (NCIM 2083)(Yoha; Moses; Anandharamakrishnan, 2020a)</i>	As taxas de inativação foram de 0,0657 dia ⁻¹ durante o armazenamento a 4 °C e 0,0768 dia ⁻¹ em temperatura ambiente para os simbióticos secos por RWD, quando comparadas aos simbióticos produzidos por <i>Freeze Drying</i> (FD) (0,0609 dia ⁻¹ a 4 °C e 0,0729 dia ⁻¹ em temperatura ambiente) durante 35 dias de armazenamento. Obteve-se a redução de dois ciclos logarítmicos na viabilidade após o armazenamento em ambas as técnicas de secagem, e a viabilidade manteve-se em 10 ⁷ UFC/g.	76,7
5	<i>Development of an apple snack enriched with probiotic Lactocaseibacillus rhamnosus: evaluation of the refractance window drying process on cell viability (Nuñez et al., 2024)</i>	A variação da atividade de água das maçãs fatiadas eriquencidas com probióticos durante o armazenamento de quatro semanas de cada método foram: CD de 0,362 a 0,484, o RWD de 0,344 a 0,391 e o FD de 0,315 a 0,286 Sendo a variação de <i>Lactocasei bacillus rhamnosus</i> nas fatias de maçã durante os 28 dias de armazenamento, o <i>Conventional Drying</i> (CD) apresentou leve redução, de 6,67 para 6,29 log UFC/g ao final do armazenamento, enquanto o <i>freeze-drying</i> (FD) foi de 7,20 log UFC/g para 6,63 log UFC/g. Na secagem por RWD os microrganismos manteve-se mais estável, variando entre 6,33 e 6,44 lo UFC/g durante os mesmo 28 dias. Logo, durante o armazenamento, as amostras secas por RWD apresentaram maior estabilidade na viabilidade de <i>L. rhamnosus</i> , enquanto CD e FD mostraram pequenas reduções na contagem microbiana	75,1
6	<i>Effect of drying techniques on synbiotic encapsulation (Karthik et al., 2025)</i>	No estudo, o RWD, (Aragón-Rojas et al., 2019) relatou que a técnica de encapsulação de RW em <i>L. fermentum</i> K73 foi bem-sucedida com a mistura prebiótica de maltodextrina, FOS e proteína do soro do leite, no qual na amostra antes seca do <i>L. fermentum</i> não foi informado, mas após seca foi 9,1 log UFC/g. Por outro lado, (Yoha; Moses; Anandharamakrishnan, 2020a) estudaram o efeito de simbióticos no método de secagem de RW. Eles encapsularam a bactéria probiótica <i>L. plantarum</i> (NCIM 2083) com uma mistura prebiótica de frutooligossacarídeo, maltodextrina e proteína do soro do leite.	75,1
7	<i>Viability of</i>	No microencapsulamento, o probiótico foi encapsulado por	71,1

	<i>Lactobacillus reuteri</i> DSM 17938 encapsulated by ionic gelation during refractance window drying of a strawberry snack (Mosquera-Vivas et al., 2024)	gelação iônica, utilizando alginato e pectina como materiais de parede. As microcápsulas receberam uma camada adicional de revestimento utilizando concentrado de proteína de soro de leite (WPC). A eficiência média de encapsulação foi de 91% (alto desempenho), atribuível às condições do processo, principalmente aos tratamentos de revestimento com concentrado de proteína do soro do leite, que foram realizados a 25 °C sem o uso de solventes orgânicos e com pH 4,0 para favorecer a interação eletrostática entre as moléculas. Os snacks com microcápsulas revestidas com WPC secos a 40 °C foram os únicos que atingiram tanto a viabilidade necessária ($\geq 10^6$ UFC/g) quanto a estabilidade de armazenamento ($a_w < 0,6$)	
8	<i>Evaluation of refractance window-dried type 3 sourdough as an alternative to liquid sourdough in bread production</i> (Arslan-Tontul et al., 2024)	O RWD reduziu a viabilidade das bactérias ácido-láticas (BAL) e das leveduras em todas as amostras de fermento natural tipo 3, sendo as leveduras mais sensíveis ao tratamento térmico do que as BAL. Para as BAL, ocorreu uma redução uniforme de aproximadamente 3 log (ou 103 UFC/g) tanto nas amostras de fermentação espontânea (S) quanto nas inoculadas com <i>L. fermentum</i> (LF) e <i>Lc. lactis</i> (LC). Em relação às leveduras, a menor perda de viabilidade foi registrada na amostra de fermentação espontânea (S), com uma redução de 3,5 log.	70,7
9	<i>Effect of different drying methods on the functional properties of probiotics encapsulated using prebiotic substances</i> (Yoha; Moses; Anandharamakrishnan, 2023)	O artigo avaliou o impacto de quatro métodos de secagem:SD, FD, Spray-freeze-drying (SFD) e RWD nas propriedades funcionais da cepa <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> NCIM 2083. Na autoagregação (após 24 h) as células livres foram de 81%, no SFD 79%, já os métodos SD, FD e RWD apresentaram percentuais inferiores de autoagregação comparados ao SFD. É citado dados de pesquisas anteriores dos mesmos autores para contextualizar a eficiência dos métodos, na retenção de Viabilidade ($\log_{10}$ CFU/g): SFD (9,52), FD (9,44), RWD (9,18) e SD (8,76), a sobrevivência em condições gastrointestinais simuladas: SFD (78%), FD (73%), SD (57,5%) e RWD (57%) e a estabilidade de armazenamento (após 60 dias): SD (83%), SFD (79%), FD (74,2%) e RWD (73%).	68,3
10	<i>The impact of refractance window</i>	A RWD a 50 °C gerou reduções de 3,29 log UFC/g para <i>Lactobacilli</i> , 3,94 para <i>Lactococci</i> , 3,87 para bactérias de ácido	65,9

	<i>drying conditions on the physical and microbiological properties of kefir powder</i> (Tontul et al., 2021)	acético (AAB) e 3,62 para leveduras; no entanto, o aumento da temperatura para 70 °C elevou essas reduções para 7,45; 6,45; 6,58 e 5,94 log UFC/g, respectivamente. Ao final de 90 dias de armazenamento, as reduções médias acumuladas para todos os métodos de RWD foram de 6,33 log UFC/g para <i>Lactobacilli</i> , 6,20 para <i>Lactococci</i> , 5,60 para AAB e 5,94 para leveduras.	
11	<i>Production of probiotic powdered barberry (Berberis vulgaris) juice by cast-tape drying technique</i> (Nadali et al., 2023)	A sobrevivência imediata após a secagem , nos <i>Bacillus coagulans</i> IS2 demonstrou alta resistência ao processo, partindo de uma inoculação de 9,06 log UFC/g, a contagem após a secagem foi de 8,96 log UFC/g. Já nos <i>Lactobacillus plantarum</i> A7 mostrou-se muito mais sensível. A contagem caiu de 9,22 log UFC/g (inoculação) para 6,93 log UFC/g após a secagem. A estabilidade foi estudada durante o armazenamento de 6 meses e a população de <i>B. coagulans</i> reduziu para 7,06 log UFC/g e a população de <i>L. plantarum</i> caiu para 4,94 log CFU/g, mostrando uma perda constante de viabilidade ao longo do tempo.	65,6
12	<i>Encapsulation of Lactobacillus fermentum K73 by refractance window drying</i> (Aragón-Rojas et al., 2019)	A encapsulação do probiótico <i>Lactobacillus fermentum</i> K73 via RWD mostrou-se tecnicamente viável ao utilizar como matriz o próprio meio de cultura (composto por 8% de soro de leite doce e 0,22% de extrato de levedura, ajustado para pH 5,5 e esterilizado a 121 °C), sem a necessidade de suportes adicionais. Sob as condições ideais de processamento de 353 K (80 °C) e um tempo de secagem de 2460 segundos, obteve-se um produto final com viabilidade celular de 9,1 Log UFC/g e um teor de umidade de 10%.	56,9
13	<i>Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying</i> (Tontul et al., 2018)	O artigo mostrou que o RWD a 50 °C é a condição ideal para preservar a viabilidade microbiológica, enquanto temperaturas de 60 °C e 70 °C causam danos térmicos excessivos às células bacterianas. As contagens iniciais no iogurte fresco foi de 9,0 log UFC g ⁻¹ de <i>L. bulgaricus</i> e 9,4 log UFC g ⁻¹ de <i>S. Thermophilus</i> . Comparação com FD: As amostras de RWD a 50 °C (especialmente com 1 mm de espessura) foram as únicas que mantiveram níveis de sobrevivência próximos aos da FD e acima do padrão sendo 8,0 log UFC/g. A viabilidade de ambas as bactérias diminui gradualmente durante o armazenamento a	56,4

		4 °C em todas as amostras. o <i>S. thermophilus</i> possui uma taxa de sobrevivência superior ao <i>L. bulgaricus</i> em praticamente todas as condições de secagem e tempos de armazenamento analisados.	
14	<i>Refractance window drying in the production of instant baker's yeast and its effect on the quality characteristics of bread</i> (Arslan-Tontul et al., 2022)	A secagem por RWD e a secagem por RWD assistida por infravermelho (InfraRWD) em baixas temperaturas, como 40°C, garantiram viabilidade de levedura semelhante à do pão comercial. Em todas as amostras secas, a contagem total de leveduras foi superior a 9,60 log UFC/g. O RWD é um sistema de secagem de baixo custo, podendo ser usada como uma técnica de secagem alternativa na produção instantânea de leveduras.	55,4
15	<i>Refractance window (RW) concentration of milk-part II: computer vision approach for optimizing microbial and sensory qualities</i> (Al-Hilphy et al., 2021)	Os pesquisadores empregaram um sistema de visão computacional e modelagem matemática para otimizar variáveis como temperatura e pressão, visando manter a qualidade sensorial e microbiológica do produto. A RWD é significativamente mais eficiente. Nos tempos de 0, 30, 60 e 90 dias dos testes feitos no RWD de leite cru e leite concentrado, não foram detectado <i>E. coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , picrofílico e leveduras e bolores. Enquanto, o leite cru apresentava contagens significativas de bactérias aeróbias totais 5,03 log UFC/mL, <i>E. coli</i> 4,81 log UFC/mL, leveduras e bolores 4,51 log UFC/mL e bactérias lipolíticas 4,78 log UFC/mL).	48,5

Fonte: Própria (2026)

Diante dos resultados expostos na Tabela 1 a manutenção da viabilidade probiótica foi o tema mais recorrente entre os trabalhos analisados. De modo geral, os estudos demonstraram que o RWD é capaz de preservar microrganismos probióticos em níveis adequados, embora seu desempenho seja frequentemente intermediário quando comparado a outras técnicas de secagem. O método apresentou maior preservação celular do que a secagem por *spray drying*, porém apresentou desempenho inferior à liofilização na manutenção da viabilidade de cepas como *Lactiplantibacillus plantarum* (Nadali et al., 2023). Ainda assim, os resultados indicam que a combinação de tempos curtos de processamento e temperaturas moderadas favorece a sobrevivência microbiana, tornando o RWD uma alternativa tecnicamente viável e economicamente mais atrativa para a obtenção de produtos probióticos.

Os estudos avaliados demonstraram que o RWD pode ser empregado na produção de pós probióticos ou simbióticos e sistemas encapsulados. Além disso, observou-se que a eficiência da

preservação microbiana depende de fatores como a composição da matriz encapsulante, a temperatura de secagem e o tempo de processamento (Aragon-Rojas et al., 2019). Em alguns casos, revestimentos como o soro de leite contribuíram para aumentar a resistência celular das cepas durante a secagem (Mosquera-Vivas et al., 2024). Os estudos também evidenciaram que os produtos obtidos por RWD mantiveram populações microbianas viáveis ao longo do armazenamento, incluindo bactérias lácticas, bactérias acéticas e leveduras (Tontul et al., 2021). Além disso, os resultados obtidos com leite concentrado por RWD demonstraram ausência de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, microrganismos psicrótróficos, leveduras e bolores durante o período de avaliação, evidenciando o potencial da tecnologia para a obtenção de produtos microbiologicamente seguros (Al-Hilphy et al., 2021).

De forma geral, o estudo destacou que o principal impacto do RWD sobre os microrganismos foi relacionado à sua capacidade de conciliar a redução da umidade com a preservação parcial da viabilidade celular. Embora o método nem sempre alcance os níveis de sobrevivência observados na liofilização, apresenta vantagens relacionadas ao menor tempo de secagem, menor consumo energético e custos operacionais reduzidos, características destacadas em diferentes estudos que favorecem sua aplicação industrial na produção de alimentos funcionais e ingredientes contendo culturas microbianas viáveis (Tan et al., 2022; Nuñez et al., 2024; Karthik et al., 2025).

CONCLUSÃO

A análise bibliométrica aplicada às produções referente ao impacto da secagem por *Refractance Window* em microrganismos, com o uso do *Methodi Ordinatio* possibilita identificar quais estudos reportam a preservação da viabilidade probiótica, o desenvolvimento de sistemas de microencapsulamento e a manutenção da estabilidade microbiológica durante o armazenamento. Embora ainda não seja uma técnica mais eficiente que a liofilização, a RWD possui uma maior capacidade de prevenção das células comparado ao *spray drying*. Além disso, os resultados também evidenciam que fatores como temperatura de secagem, tempo de processo e a composição da matriz encapsulante influenciam diretamente a viabilidade microbiana após a secagem.

Dessa forma, a análise bibliométrica evidencia que o RWD é uma tecnologia promissora para a preservação de microrganismos e a produção de ingredientes e alimentos contendo culturas viáveis, representando uma alternativa eficiente. Além disso, sua capacidade de ampliar a estabilidade e a vida útil de alimentos contendo microrganismos benéficos contribui para a redução de perdas pós-processamento e para a disponibilização de alimentos com maior valor funcional, em consonância com o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável). Paralelamente, o menor consumo energético e a maior eficiência do processo em comparação com métodos convencionais de secagem favorecem padrões mais

sustentáveis de produção e utilização de recursos, atendendo aos princípios estabelecidos pelo ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis).

REFERÊNCIAS

AL-HILPHY, Asaad R. *et al.* Refractance window (RW) concentration of milk-Part II: Computer vision approach for optimizing microbial and sensory qualities. **JOURNAL OF FOOD PROCESSING AND PRESERVATION**, v. 45, n. 9, set. 2021.

ALP, Duygu; BULANTEKIN, Özcan. The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review. v. 247, p. 1333–1343, 2021.

AMIT, Sadat Kamal *et al.* A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. **Agriculture & Food Security** **2017 6:1**, v. 6, n. 1, p. 51-, 21 nov. 2017.

ARAGÓN-ROJAS, Stephania *et al.* Encapsulation of *Lactobacillus fermentum* K73 by Refractance Window drying. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, 2019.

ARSLAN-TONTUL, Sultan *et al.* Refractance window drying in the production of instant baker's yeast and its effect on the quality characteristics of bread. **Journal of Food Science**, v. 87, n. 11, p. 4991–5000, 2022.

ARSLAN-TONTUL, Sultan *et al.* Evaluation of refractance window-dried type 3 sourdough as an alternative to liquid sourdough in bread production. **JOURNAL OF CEREAL SCIENCE**, v. 116, mar. 2024.

BASSEY, Edidiong Joseph; CHENG, Jun Hu; SUN, Da Wen. Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 137–148, 1 jun. 2021.

CICHELLA FRABETTI, Ana Caroline; DURIGON, Angelise; LAURINDO, João Borges. Effect of process variables on the drying of guava pulp by cast-tape drying. **LWT**, v. 96, p. 620–626, 1 out. 2018.

DURIGON, A. *et al.* Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 145–155, out. 2016a.

DURIGON, Angelise *et al.* Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food and Bioproducts Processing**, v. 100, p. 145–155, 1 out. 2016b.

DURIGON, Angelise *et al.* Heat transfer and drying kinetics of tomato pulp processed by cast-tape drying. **Drying Technology**, v. 36, n. 2, p. 160–168, 25 jan. 2018.

FATHI, Faezeh *et al.* Emerging drying techniques for food safety and quality: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 2, p. 1125–1160, 1 mar. 2022.

FRABETTI, A. C.; DURIGON, A.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying of guava pulp by cast-tape drying. **LWT**, v. 96, p. 620–626, out. 2018.

HOQUE, Azmirul; SETHI, Laxmi Narayan; PADHIARY, Mrutyunjay. Systematic Review on Refractance Window Drying for Preserving Heat Sensitive Agricultural Products. **JOURNAL OF FOOD PROCESS ENGINEERING**, v. 48, n. 11, nov. 2025.

KARTHIK, Pothiyappan *et al.* Effect of drying techniques on synbiotic encapsulation. **Food Science and Biotechnology**, 2025.

MAHANTI, Naveen Kumar *et al.* Refractance Window™-Drying vs. other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: A comprehensive review of trends and technological developments. **Future Foods**, v. 3, p. 100024, 1 jun. 2021.

MOSQUERA-VIVAS, Esmeralda *et al.* Viability of *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 Encapsulated by Ionic Gelation during Refractance Window® Drying of a Strawberry Snack. **FOODS**, v. 13, n. 6, mar. 2024.

NADALI, Narjes *et al.* Production of probiotic powdered barberry (*Berberis vulgaris*) juice by cast-tape drying technique. **LWT-FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 190, dez. 2023.

NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance window dehydration technology: A novel contact drying method. **Drying Technology**, v. 25, n. 1, p. 37–48, jan. 2007a.

NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method. **Drying Technology**, v. 25, n. 1, p. 37–48, jan. 2007b.

NUÑEZ, Helena *et al.* Development of an Apple Snack Enriched with Probiotic *Lactobacillus rhamnosus*: Evaluation of the Refractance Window Drying Process on Cell Viability. **Foods**, v. 13, n. 11, 2024.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 6 jun. 2026.

PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics** 2015 **105**:3, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 12 set. 2015.

PREETHI, R. *et al.* Conductive hydro drying as an alternative method for egg white powder production. **Drying Technology**, p. 1–13, 2020.

RAGHAVI, L. M.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Refractance window drying of foods: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 222, p. 267–275, 1 abr. 2018.

SHENDE, Deepika; DATTA, Ashis K. Refractance window drying of fruits and vegetables: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 4, p. 1449–1456, 15 mar. 2019.

TAN, Choon Hui *et al.* Valorization of fruits, vegetables, and their by-products: Drying and bio-drying. **DRYING TECHNOLOGY**, v. 40, n. 8, SI, p. 1514–1538, jun. 2022.

TONTUL, Ismail *et al.* Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. **INTERNATIONAL DAIRY JOURNAL**, v. 85, p. 169–176, out. 2018.

TONTUL, Ismail *et al.* The impact of refractance window drying conditions on the physical and microbiological properties of kefir powder. **Food Bioscience**, v. 43, 2021.

WAGHMARE, Roji. Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 652–662, 1 abr. 2021.

YOHA, K. S.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Conductive hydro drying through refractance window drying - An alternative technique for drying of *Lactobacillus plantarum* (NCIM 2083). **DRYING TECHNOLOGY**, v. 38, n. 5–6, SI, p. 610–620, abr. 2020a.

YOHA, K. S.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Effect of encapsulation methods on the physicochemical properties and the stability of *Lactobacillus plantarum* (NCIM 2083) in synbiotic powders and in-vitro digestion conditions. **Journal of Food Engineering**, v. 283, p. 110033, 1 out. 2020b.

YOHA, K. S.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Effect of different drying methods on the functional properties of probiotics encapsulated using prebiotic substances. **APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY**, v. 107, n. 5–6, p. 1575–1588, mar. 2023.

YOHA, Kandasamy Suppiramaniam *et al.* 3D printing of encapsulated probiotics: Effect of different post-processing methods on the stability of *Lactiplantibacillus plantarum* (NCIM 2083) under static in vitro digestion conditions and during storage. **LWT**, v. 146, 2021.

ZOTARELLI, M. F.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. **Food Research International**, v. 69, p. 410–417, mar. 2015.