



ALTERNATIVAS AOS SULFITOS NO PRÉ-TRATAMENTO CONTRA ESCURECIMENTO ENZIMÁTICO E NÃO ENZIMÁTICO EM FRUTAS DESIDRATADAS: UMA REVISÃO CIENTÍFICA E PATENTÁRIA

ALTERNATIVAS A LOS SULFITOS EN EL PRETRATAMIENTO CONTRA EL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO Y NO ENZIMÁTICO EN FRUTAS DESHIDRATADAS: UNA REVISIÓN CIENTÍFICA Y DE PATENTES.

ALTERNATIVES TO SULFITES IN THE PRE-TREATMENT AGAINST ENZYMATIC AND NON-ENZYMATIC BROWNING IN DRIED FRUITS: A SCIENTIFIC AND PATENT REVIEW

Bruno José Bahiense Corbacho¹; Júlia Correa Rodrigues da Costa²; Ricardo Schimit Ongaratto³

DOI: <https://doi.org/10.31692/VIICIAGRO.0037>

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo realizar um mapeamento tecnológico e científico de alternativas ao uso do dióxido de enxofre e seus sais no controle do escurecimento enzimático em frutas desidratadas, identificando tendências de inovação e tecnologias emergentes capazes de substituir a sulfitação convencional. A fundamentação teórica baseou-se nos mecanismos responsáveis pelo escurecimento de frutas processadas, com destaque para a atuação da enzima polifenoloxidase e para a reação de Maillard, principais fatores relacionados à degradação da cor, do valor nutricional e da qualidade sensorial das frutas desidratadas. Também foram abordadas as funções tecnológicas dos sulfitos e os riscos associados ao seu consumo, incluindo reações alérgicas e problemas respiratórios, fatores que têm impulsionado a busca por alternativas mais seguras. A metodologia consistiu em uma pesquisa exploratória e descritiva, conduzida por meio de prospecção tecnológica e científica. Foram realizadas buscas nas bases Espacenet, Scopus, ScienceDirect e Web of Science, considerando o período de 2016 a 2026. Os documentos recuperados foram submetidos a critérios de elegibilidade e análise qualitativa das tecnologias empregadas para mitigação do escurecimento e redução do uso de sulfitos. A busca de documentos patentários recuperou 109 documentos, dos quais sete apresentaram aderência ao escopo da pesquisa. Observou-se predominância da China no desenvolvimento de tecnologias, destacando-se métodos combinando secagem a vácuo, micro-ondas, branqueamento, uso de ácidos orgânicos, antioxidantes naturais, extratos vegetais e agentes protetores de cor. Na prospecção científica foram identificados 575 artigos, evidenciando crescimento contínuo das publicações ao longo da última década. Entre as tecnologias mais promissoras destacaram-se a desidratação osmótica, ultrassom, campos elétricos pulsados, aquecimento ôhmico, plasma frio, revestimentos comestíveis e secagem assistida por micro-ondas e vácuo. Conclui-se que a substituição dos sulfitos em frutas desidratadas é tecnicamente viável e representa uma tendência consolidada na pesquisa científica e tecnológica. A integração de tecnologias emergentes e compostos naturais demonstra elevado potencial para preservar a qualidade sensorial, nutricional e microbiológica dos produtos, reduzindo simultaneamente a dependência de conservantes químicos tradicionais.

Palavras-chave: polifenoloxidase, sulfitação, conservação de alimentos, secagem, prospecção.

¹ Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - IFRJ, nutribruno@gmail.com

² Graduanda em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, juliarcosta@eq.ufrj.br

³ Doutor em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, rsongaratto@eq.ufrj.br

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo realizar un mapeo tecnológico y científico de alternativas al uso del dióxido de azufre y sus sales en el control del pardeamiento enzimático en frutas deshidratadas, identificando tendencias de innovación y tecnologías emergentes capaces de sustituir la sulfitación convencional. La fundamentación teórica se basó en los mecanismos responsables del pardeamiento de frutas procesadas, destacando la acción de la enzima polifenoloxidasas y la reacción de Maillard, principales factores relacionados con la degradación del color, del valor nutricional y de la calidad sensorial de los alimentos. Asimismo, se abordaron las funciones tecnológicas de los sulfitos y los riesgos asociados a su consumo, incluyendo reacciones alérgicas y problemas respiratorios, factores que han impulsado la búsqueda de alternativas más seguras. La metodología consistió en una investigación exploratoria y descriptiva, realizada mediante prospección tecnológica y científica. Se efectuaron búsquedas en las bases de datos Espacenet, Scopus, ScienceDirect y Web of Science, considerando el período comprendido entre 2016 y 2026. Los documentos recuperados fueron sometidos a criterios de elegibilidad y a un análisis cualitativo de las tecnologías empleadas para mitigar el pardeamiento y reducir el uso de sulfitos. La búsqueda de documentos de patentes recuperó 109 documentos, de los cuales siete presentaron adherencia al alcance de la investigación. Se observó un predominio de China en el desarrollo de tecnologías, destacándose métodos que combinan secado al vacío, microondas, escaldado, uso de ácidos orgánicos, antioxidantes naturales, extractos vegetales y agentes protectores del color. En la prospección científica se identificaron 575 artículos, evidenciando un crecimiento continuo de las publicaciones durante la última década. Entre las tecnologías más prometedoras destacaron la deshidratación osmótica, el ultrasonido, los campos eléctricos pulsados, el calentamiento óhmico, el plasma frío, los recubrimientos comestibles y el secado asistido por microondas y vacío. Se concluye que la sustitución de los sulfitos en frutas deshidratadas es técnicamente viable y representa una tendencia consolidada en la investigación científica y tecnológica. La integración de tecnologías emergentes y compuestos naturales demuestra un elevado potencial para preservar la calidad sensorial, nutricional y microbiológica de los productos, reduciendo simultáneamente la dependencia de conservantes químicos tradicionales.

Palabras clave: polifenoloxidasas, tecnologías emergentes, conservación de alimentos, prospección tecnológica.

ABSTRACT

The present study aimed to conduct a technological and scientific mapping of alternatives to the use of sulphur dioxide and its salts for controlling enzymatic browning in dried fruits, identifying innovation trends and emerging technologies capable of replacing conventional sulphiting. The theoretical framework was based on the mechanisms responsible for the browning of processed fruits, with particular emphasis on the role of the polyphenol oxidase enzyme and the Maillard reaction, which are the main factors associated with the degradation of colour, nutritional value, and sensory quality of foods. The technological functions of sulphites and the risks associated with their consumption, including allergic reactions and respiratory disorders, were also addressed, as these concerns have driven the search for safer alternatives. The methodology consisted of an exploratory and descriptive study conducted through technological and scientific prospecting. Searches were carried out in the Espacenet, Scopus, ScienceDirect, and Web of Science databases, covering the period from 2016 to 2026. The retrieved documents were subjected to eligibility criteria and qualitative analysis of the technologies employed to mitigate browning and reduce the use of sulphites. The patent search retrieved 109 documents, of which seven were considered relevant to the scope of the study. China was found to be the leading country in the development of these technologies, with notable methods combining vacuum drying, microwave processing, blanching, the use of organic acids, natural antioxidants, plant extracts, and colour-protecting agents. Scientific prospecting identified 575 articles, demonstrating continuous growth in publications over the last decade. Among the most promising technologies were osmotic dehydration, ultrasound, pulsed electric fields, ohmic heating, cold plasma, edible coatings, and microwave- and vacuum-assisted drying. It can be concluded that the replacement of sulphites in dried fruits is technically feasible and represents a well-established trend in scientific and technological research. The integration of emerging technologies and natural compounds demonstrates considerable potential for preserving the sensory, nutritional, and microbiological quality of products while simultaneously reducing dependence on traditional chemical preservatives.

Keywords: polyphenol oxidase, emerging technologies, food preservation, technological prospecting.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os estudos prospectivos têm apresentado crescimento expressivo, impulsionado pelo desenvolvimento de metodologias capazes de mapear produções científicas e tecnológicas com elevado potencial de impacto industrial, econômico e social (Kvavilashvili; Rummel, 2020; Beckert, 2021). Diante disso, a literatura tem demonstrado diversos estudos voltados à substituição do dióxido de enxofre (SO_2) em frutas desidratadas, mediante uma necessidade impulsionada pela crescente preocupação com os efeitos adversos à saúde, como reações alérgicas, irritações respiratórias e crises asmáticas em indivíduos sensíveis (Abidi *et al.*, 2023; Yanclo *et al.*, 2023). Vincenzi; Mendes; Mota (2021) também alertam que o SO_2 pode reduzir a biodisponibilidade de vitaminas como a tiamina e o ácido fólico.

A utilização do SO_2 e de seus sais como o bissulfito de sódio e de potássio em frutas desidratadas é uma prática amplamente adotada pela indústria alimentícia devido às suas múltiplas funções tecnológicas e de conservação (Bhujel *et al.*, 2025). Segundo Uğur e Erdoğan (2021) e Abidi *et al.* (2023), essas substâncias atuam como poderosos agentes antioxidantes e são essenciais para prevenir a deterioração microbiana durante o armazenamento e prolongar a vida útil dos produtos. Uma das funções mais atribuídas ao uso dos sulfitos é o controle do escurecimento. Vincenzi; Mendes; Mota (2021) e Suo *et al.* (2024) explicam que a utilização de SO_2 inibe a enzima polifenoloxidase, responsável pelo escurecimento enzimático, e também reduz a disponibilidade de oxigênio ao reagir com quinonas, mitigando o escurecimento não enzimático na reação de Maillard. Agbede *et al.* (2023) apontam, como uma vantagem, que a sulfitação altera favoravelmente a permeabilidade das membranas celulares, o que melhora as taxas de secagem e encurta o tempo necessário para a desidratação.

Com o objetivo de reduzir a dependência dos sulfitos, tecnologias emergentes e métodos avançados de processamento têm sido investigados como alternativas promissoras para enfrentar os desafios da cadeia de suprimentos de frutas desidratadas, focando na preservação da qualidade nutricional e na eficiência do processo. Segundo Cunha *et al.* (2020), embora a secagem seja uma técnica antiga e eficaz para aumentar a vida útil e inibir microrganismos, os métodos convencionais de ar quente por longos períodos podem ser prejudiciais à qualidade físico-química e nutricional, além de gerarem alto gasto energético. Como alternativa, vêm se destacando técnicas que promovem barreiras contra a oxidação que se mostram promissoras para substituição dos pré-tratamento tradicionais como a sulfitação (Sakooei-Vayghan *et al.* 2020). Este estudo teve como objetivo prospectar tecnologias reveladas em documentos

patentários e evidências científicas relacionadas a alternativas aos sulfitos para controle do escurecimento em frutas desidratadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A qualidade de frutas e hortaliças desidratadas está diretamente relacionada às transformações físico-químicas e bioquímicas que ocorrem durante o processamento e armazenamento (Santana e Silva *et al.*, 2021). Entre essas alterações, destacam-se o escurecimento enzimático e não enzimático, responsáveis por mudanças na cor, sabor, aroma e valor nutricional dos produtos, comprometendo sua aceitação comercial e estabilidade (Akgün; Comert; Gokmen, 2026). Nesse contexto, a compreensão dos mecanismos envolvidos na atuação da polifenoloxidase, na reação de Maillard e na utilização de agentes conservantes, como o SO₂ e seus sais, torna-se essencial para o desenvolvimento de estratégias capazes de preservar as características sensoriais e funcionais das frutas desidratadas (Süfer *et al.*, 2025). Além disso, o avanço das tecnologias de secagem e das alternativas à sulfitação tem ampliado as possibilidades de obtenção de produtos com maior qualidade e segurança, atendendo às demandas industriais e às exigências dos consumidores por métodos mais sustentáveis e menos dependentes de aditivos químicos (Chaves; Junior; Castro, 2021; Pateiro *et al.*, 2022; Suo *et al.*, 2024).

2.1. A enzima polifenoloxidase e o escurecimento enzimático

A polifenoloxidase (PPO), também referida como tirosinase ou catecol oxidase, é uma metaloproteína oxirredutase que contém cobre em sua estrutura e está presente em diversas frutas, vegetais e também em alguns crustáceos (Silva; Sulaiman, 2022; Makroo; Srivastava; Jabeen, 2022). Esta enzima é a principal responsável pelo escurecimento enzimático, um processo que ocorre quando os tecidos da fruta são expostos ao oxigênio, devido a danos mecânicos ou processamento, resultando na oxidação de constituintes fenólicos em o-quinonas, que são altamente reativas e instáveis, e sofrem reações subsequentes, condensando-se e reagindo com outros compostos, como aminoácidos e proteínas que posteriormente geram polímeros complexos de cor escura conhecidos como melaninas, que conferem a coloração marrom ao alimento (Makroo; Srivastava; Jabeen, 2022; Silva; Sulaiman, 2022; Süfer *et al.*, 2025).

A oxidação enzimática pela PPO é citada como o principal mecanismo de degradação de fenóis durante processos como a secagem convectiva (Cunha *et al.*, 2020). Embora a PPO foque em fenóis, o processo de escurecimento enzimático que ela desencadeia está

frequentemente associado à perda de vitaminas termolábeis e sensíveis ao oxigênio, como o ácido ascórbico (Makroo; Srivastava; Jabeen, 2022; Vega-Gálvez *et al.*, 2022) que é muitas vezes consumido durante a reação ao tentar reduzir as quinonas de volta a fenóis, o que diminui sua concentração final no alimento (Khan *et al.*, 2020). A enzima também é responsável pela degradação de fitoquímicos que conferem cor e benefícios à saúde, como as betacianinas em frutas como a pitaya e certos carotenóides, que possuem propriedades pró-vitamina A e antioxidantes (Miranda; Berna; Mulet, 2021; Mai; Tran; Le, 2022).

Devido a esses efeitos, o controle ou inativação da polifenoloxidase através de métodos físicos como calor, ultrassom ou alta pressão, ou químicos, com a adição de antioxidantes e redução de pH, são um dos principais objetivos do processamento de frutas para preservar sua qualidade nutricional e sensorial (Makroo; Srivastava; Jabeen, 2022; Priyadarshini *et al.*, 2023).

2.2. A reação de Maillard e o escurecimento não enzimático

A reação de Maillard consiste em um processo de escurecimento não enzimático decorrente de reações entre açúcares redutores e grupos amino de aminoácidos ou proteínas (Bhagya Raj; Dash, 2022; Süfer *et al.*, 2025; Aktag; Comert; Gokmen, 2026). Esse processo inicia-se quando um grupo amina ataca um açúcar redutor, resultando na formação de uma base de Schiff, que posteriormente se transforma em produtos de Amadori ou Heyns (Aktag; Comert; Gokmen, 2026). Na fase final da reação, ocorrem processos de polimerização que originam as melanoidinas, pigmentos marrons responsáveis pela coloração escura característica das frutas desidratadas (Somjai *et al.*, 2021).

Durante a desidratação, diversos fatores aceleram a reação de Maillard, entre eles, destacam-se a temperatura e o tempo de processamento, uma vez que o uso de altas temperaturas e períodos prolongados de secagem, comuns na secagem convectiva por ar quente, favorece significativamente o escurecimento do produto (Diop *et al.*, 2022; Pateiro *et al.*, 2022; Aktag; Comert; Gokmen, 2026). A atividade de água também exerce influência importante, pois, embora a reação seja inibida em teores de água muito elevados, ela é intensificada em níveis intermediários e baixos de umidade, normalmente alcançados nas etapas finais da secagem (Diop *et al.*, 2022; Pateiro *et al.*, 2022; Aktag; Comert; Gokmen, 2026). Além disso, a composição do alimento interfere diretamente na intensidade da reação, sendo que frutas com maiores concentrações de açúcares redutores e aminoácidos, como a lisina, apresentam maior potencial para o desenvolvimento da reação (Diop *et al.*, 2022; Pateiro *et al.*, 2022; Süfer *et al.*, 2025; Aktag; Comert; Gokmen, 2026). O estado de maturação também é relevante, já que frutos mais maduros tendem a possuir concentrações mais elevadas desses substratos reativos (Diop

et al., 2022).

As consequências da reação de Maillard em frutas desidratadas envolvem alterações importantes nas propriedades sensoriais, especialmente na cor, sabor e aroma, além de perdas nutricionais decorrentes da degradação de vitaminas e aminoácidos essenciais (Somjai *et al.*, 2021; Pateiro *et al.*, 2022; Aktag; Comert; Gokmen, 2026). A reação pode promover a formação de compostos potencialmente tóxicos, como os produtos finais de glicação avançada (Aktag; Comert; Gokmen, 2026). Por outro lado, a formação de melanoidinas pode contribuir positivamente para o aumento da capacidade antioxidante do produto final em determinadas condições (Somjai *et al.*, 2021; Çetin; Sağlam, 2022; Pateiro *et al.*, 2022).

Com o objetivo de controlar ou inibir esse processo, a indústria emprega diferentes estratégias tecnológicas. Entre as mais utilizadas está a sulfitação, que atua destruindo enzimas e bloqueando etapas da reação de Maillard (Aktag; Comert; Gokmen, 2026). Outras alternativas incluem o controle rigoroso da temperatura de armazenamento, idealmente abaixo de 25 °C, o uso de revestimentos comestíveis capazes de atuar como barreiras ao oxigênio e ao calor, bem como a aplicação de tecnologias de secagem mais rápidas ou realizadas sob vácuo, como a liofilização e a secagem por micro-ondas (Miranda; Berna; Mulet, 2021; Suo *et al.*, 2024; Aktag; Comert; Gokmen, 2026).

2.3. A utilização do dióxido de enxofre e sais na indústria de alimentos

O SO₂ é um gás incolor, tóxico e de odor acre e pungente, perceptível mesmo em baixas concentrações (Stauffer; Tat, 2026). Na indústria de alimentos, o termo sulfitos engloba tanto o SO₂ gasoso quanto diferentes sais inorgânicos capazes de liberá-lo, como sulfito, bissulfito e metabissulfito de sódio, potássio ou cálcio (Hajri *et al.*, 2022; Dordevic *et al.*, 2023; Ekstein; Warshaw, 2023). Entre suas principais funções estão a ação antimicrobiana, com capacidade de inibir o crescimento de fungos e bactérias e retardar a deterioração microbiológica (Abidi *et al.*, 2023; Almeida *et al.*, 2023; Bhujel *et al.*, 2025); a atuação como antioxidantes, sequestrando oxigênio e protegendo nutrientes contra alterações oxidativas (Kayran; Doymaz, 2021; Abidi *et al.*, 2023; Dordevic *et al.*, 2023; Suo *et al.*, 2024); e, principalmente, a prevenção do escurecimento enzimático e não enzimático, preservando a cor natural de frutas e vegetais durante o processamento e armazenamento (Kayran; Doymaz, 2021; Abidi *et al.*, 2023; Bhujel *et al.*, 2025; Suo *et al.*, 2024). Em razão dessas propriedades, os sulfitos são amplamente utilizados em frutas secas, como damascos, uvas e figos, além de vinhos, cervejas, sucos de frutas, vinagres, batatas processadas, frutos do mar e alguns produtos cárneos (Dordevic *et al.*, 2023; Almeida *et al.*, 2023; Ekstein; Warshaw, 2023; Vincenzi; Mendes; Mota, 2021).

No caso específico das frutas secas, o SO₂ é considerado o padrão industrial para o controle do escurecimento e manutenção da aparência visual do produto (Kayran; Doymaz, 2021; Jafari; Sab; Darvishi, 2025). A preservação da cor ocorre principalmente por meio de dois mecanismos complementares. O primeiro consiste na inibição do escurecimento enzimático, em que o SO₂ reduz a atividade de enzimas como a PPO e a peroxidase, ligando-se aos seus sítios ativos ou reagindo com quinonas formadas durante a oxidação dos compostos fenólicos, impedindo assim a formação de pigmentos escuros (Saghafi *et al.*, 2021; Almeida *et al.*, 2023; Saçkesen *et al.*, 2025; Jafari; Sab; Darvishi, 2025) e o segundo mecanismo está relacionado à inibição do escurecimento não enzimático, no qual os sulfitos atuam como agentes redutores capazes de bloquear a reação de Maillard (Kayran; Doymaz, 2021; Saghafi *et al.*, 2021; Santana e Silva *et al.*, 2021; Guan *et al.*, 2023).

A estabilidade da cor das frutas secas está diretamente associada ao teor residual de SO₂ presente no produto. Durante o armazenamento, especialmente em temperaturas superiores a 25 °C, ocorre redução gradual desse teor, o que acelera os processos de escurecimento e compromete a qualidade visual do alimento (Miranda; Berna; Mulet, 2021; Aktag; Comert; Gokmen, 2026). Dessa forma, a manutenção de níveis adequados de sulfitos é fundamental para garantir a estabilidade da cor, prolongar a vida de prateleira e assegurar a aceitação comercial das frutas desidratadas (Tawfik *et al.*, 2025).

3. METODOLOGIA

3.1. Desenho da Pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória e descritiva, conduzida por meio de prospecção tecnológica, com a revisão de literatura científica e o mapeamento estruturado de patentes. A investigação adotou uma abordagem metodológica mista, integrando a análise quantitativa para a identificação de tendências globais e métricas de depósitos de patentes com a análise qualitativa, focada no exame detalhado das reivindicações tecnológicas referentes aos mecanismos de inibição da polifenoloxidase durante o processo de desidratação de frutas, visando a mitigação ou redução do uso de SO₂.

3.2. Bases de Dados e Estratégia de Busca

Para assegurar a abrangência internacional e a confiabilidade na recuperação dos dados, a busca foi realizada em bases de dados científicas: *Scopus*, *ScienceDirect* e *Web of Science* e em uma base de documentos patentários: Espacenet. A estratégia de prospecção foi elaborada utilizando uma combinação de palavras-chave no idioma inglês, conectores booleanos (AND,

OR), códigos específicos da Classificação Internacional de Patentes (IPC) e da Classificação Cooperativa de Patentes (CPC). Os descritores foram selecionados para contemplar os três eixos temáticos do estudo: a matriz alimentar (frutas desidratadas), o problema tecnológico (escurecimento enzimático e utilização de sulfitos) durante a desidratação e a solução proposta (pré-tratamentos alternativos). Para prospecção patentária a equação de busca primária foi estruturada da seguinte forma, sendo adaptada a sintaxe da base de dados Espacenet: (cl all "A23L" OR cl all "A23B") AND (ctxt any "FRUIT*" AND ctxt any "DRY* OR DRI* OR DEHYDRAT*" AND ctxt any "ALTERNATIVE SUL??UR* OR SUL??IT*" AND ctxt any "BROWN*"). Os códigos A23B (conservação de frutas ou vegetais) e A23L (conservação de alimentos em geral) foram aplicados para refinar o escopo estritamente ao setor de ciência e tecnologia de alimentos. Para prospecção científica, a estratégia de busca utilizou a mesma combinação de descritores, omitindo-se os códigos de classificação e adaptando a síntese para os campos de busca padronizados (título, resumo e palavras-chave) de cada base científica.

3.3. Critérios de Elegibilidade e Triagem

A coleta de dados estabeleceu um recorte temporal delimitado aos últimos 10 anos, 2016 a 2026, visando capturar o panorama das inovações desenvolvidas em resposta às crescentes restrições regulatórias quanto ao uso de sulfitos na indústria de alimentos. O processo de triagem dos documentos recuperados, artigos e documentos patentários, foi conduzido em duas etapas consecutivas para eliminação de falsos positivos.

Na triagem inicial, realizou-se a leitura dos títulos e resumos. Foram excluídos documentos e invenções que abordassem unicamente a aplicação tradicional de SO₂ e seus derivados. A segunda etapa consistiu na análise aprofundada mediante a leitura integral dos textos, focando na metodologia e resultados, para os artigos, e nas reivindicações, para os documentos patentários. O critério de inclusão final exigiu que o documento descrevesse explicitamente o mecanismo de ação do pré-tratamento alternativo, seja ele físico, químico, biológico ou a combinação de métodos com a comprovação da inibição das reações de escurecimento durante o processo de desidratação, mitigando ou reduzindo o uso de sulfitos.

3.4. Extração e Tratamento dos Dados

Os dados bibliográficos dos documentos incluídos no resultado final foram exportados e tabulados em planilhas Microsoft Excel. O tratamento dos dados seguiu diretrizes específicas de acordo com a natureza do documento recuperado. Para a prospecção científica, os artigos selecionados foram analisados qualitativamente e classificados de acordo com a temática

central do estudo. Os dados extraídos focaram nos princípios físico-químicos dos pré-tratamentos testados e na eficácia relatada. Para a prospecção tecnológica na etapa quantitativa, foram extraídos e analisados os indicadores tecnológicos, a evolução temporal dos depósitos anuais e os respectivos países de origem. Na análise qualitativa, os documentos patentários foram categorizados conforme o princípio do pré-tratamento, de modo a mapear as potenciais tecnologias emergentes em paralelo com os achados científicos.

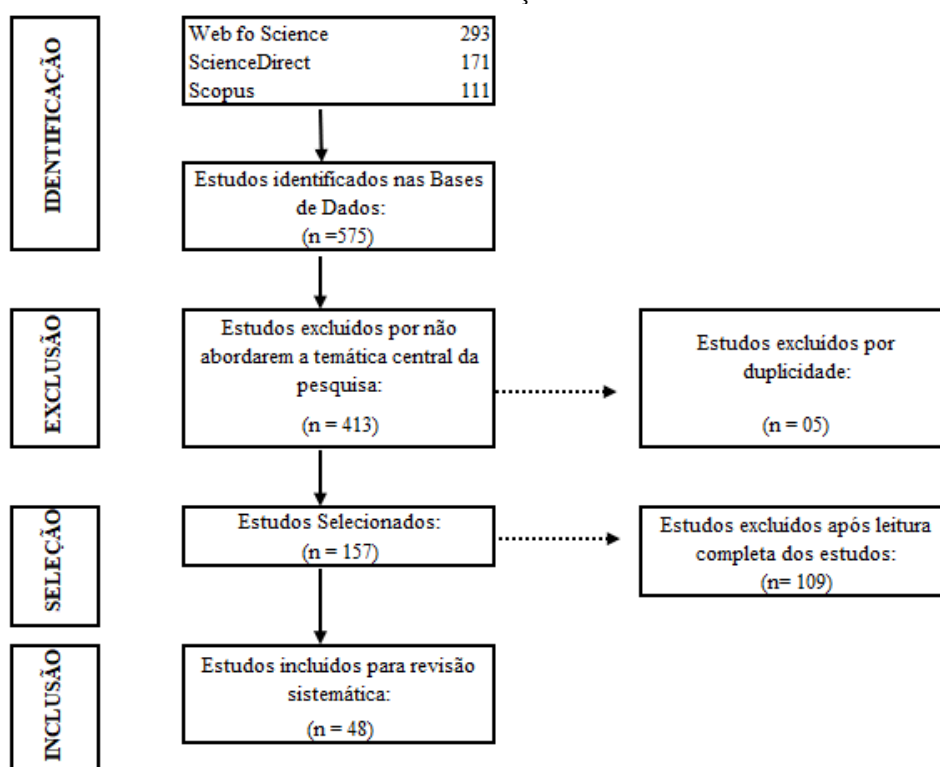
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados nas bases de dados a respeito das prospecções científicas e patentárias de acordo com o recorte temporal, foram apresentados nas subseções 4.1 e 4.2.

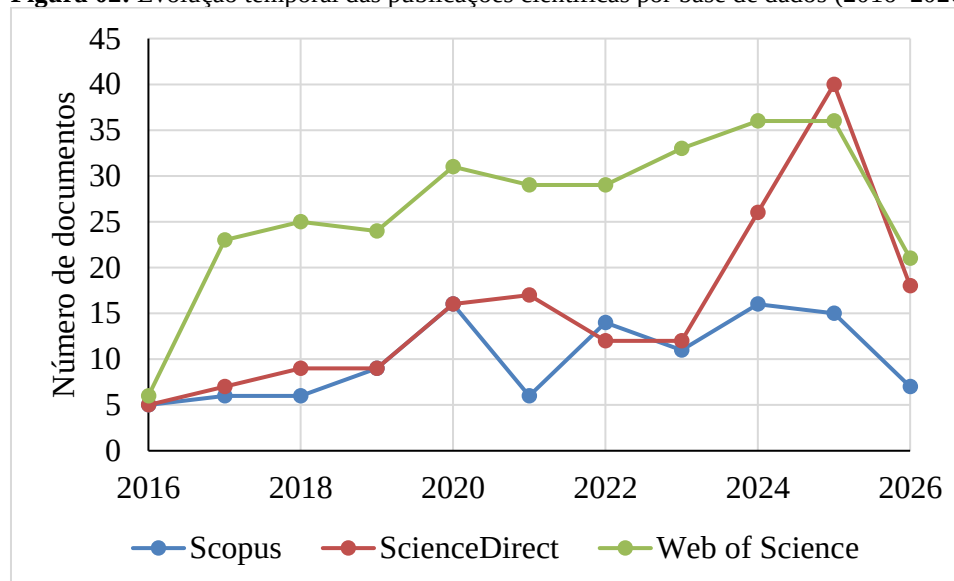
4.1. Prospecção Científica

As buscas efetuadas retornaram 575 artigos científicos, com destaque para a base de dados do *Web of Science*. Foram classificados 48 artigos de acordo com os critérios de seleção descritos na metodologia, como parte do escopo deste trabalho (Figura 01). Na Figura 02 é apresentada a evolução da quantidade de artigos publicados na temática nos anos considerados para a busca. Observa-se um crescimento no número de publicações ao longo dos anos, independentemente da base de dados considerada, indicando o interesse crescente na área.

Figura 01: Representação esquemática do fluxo de estudos prospecção científica sobre as alternativas ao uso de sulfitos na desidratação de frutas.



Fonte: Própria (2026).

Figura 02: Evolução temporal das publicações científicas por base de dados (2016–2026)

Fonte: Própria (2026).

Os processos de desidratação e secagem constituem técnicas fundamentais para a conservação de alimentos, uma vez que promovem a redução da atividade de água, inibindo o crescimento microbiano e as reações enzimáticas, contribuindo para o aumento da vida útil dos produtos (Pateiro *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2022; Yanclo *et al.*, 2023). Nesse contexto, métodos de secagem mais rápidos têm sido amplamente estudados, pois a redução do tempo de processamento minimiza a ocorrência de reações oxidativas responsáveis pela alteração da coloração natural das frutas (Kontaxakis *et al.*, 2024). A prospecção científica demonstra que a aplicação de tecnologias inovadoras e de pré-tratamentos no processamento de frutas desidratadas tem sido fundamental para superar limitações dos métodos convencionais, frequentemente associados a longos tempos de processamento, elevado consumo energético e perda de compostos termolábeis (Agbede *et al.*, 2023).

Entre as tecnologias empregadas, destaca-se a desidratação osmótica (DO), que consiste na imersão do alimento em uma solução hipertônica, geralmente contendo açúcar para frutas ou sal para hortaliças. Nesse processo ocorre um fluxo bidirecional, no qual a água migra do tecido vegetal para a solução enquanto os solutos penetram no alimento (Chaves; Junior; Castro, 2021; Bhagya Raj; Dash, 2022; Suo *et al.*, 2024; Süfer *et al.*, 2025). A DO é amplamente reconhecida por preservar sabor, aroma e estrutura das frutas, além de reduzir parcialmente seu teor de água antes da secagem (Chaves; Junior; Castro, 2021; Chobot *et al.*, 2024). Embora eficaz na redução do escurecimento enzimático em frutas como banana e kiwi, sua aplicação isolada pode resultar em processos relativamente lentos (Bhagya Raj; Dash, 2022). Por essa razão, diferentes estudos têm investigado sua associação com tecnologias complementares,

como ultrassom e vácuo, que aceleram a transferência de massa e melhoram a retenção de vitaminas, compostos bioativos e cor no produto final (Chaves; Junior; Castro, 2021; Chobot *et al.*, 2024; Süfer *et al.*, 2025). Além disso, a DO auxilia na formação de uma barreira física ao oxigênio, reduzindo reações oxidativas e contribuindo para a preservação das características sensoriais sem a necessidade de utilização de sulfitos (Bhagya Raj; Dash, 2022; Pateiro *et al.*, 2022; Chaves; Junior; Castro, 2021; Suo *et al.*, 2024).

Os métodos de secagem variam desde processos tradicionais até tecnologias avançadas. A secagem natural é considerada o método mais antigo, utilizando a energia solar e a ação do vento para remoção da umidade. Embora apresente baixo custo operacional, trata-se de um processo lento e altamente dependente das condições climáticas (Santana e Silva *et al.*, 2021; Vincenzi; Mendes; Mota, 2021; Süfer *et al.*, 2025). Para melhorar sua eficiência, diferentes configurações de secadores solares têm sido desenvolvidas, incluindo sistemas capazes de aumentar a absorção da radiação térmica e proteger os alimentos contra contaminações externas (Santana e Silva *et al.*, 2021). Métodos mais rápidos, como câmaras solares indiretas, também vêm sendo empregados para preservar melhor a coloração natural das frutas ao reduzir o tempo disponível para ocorrência das reações de escurecimento (Kontaxakis *et al.*, 2024).

No âmbito industrial, a secagem convectiva destaca-se como uma das técnicas mais utilizadas, empregando ar aquecido como meio de transferência de calor e remoção da umidade (Pateiro *et al.*, 2022; Süfer *et al.*, 2025; Redha; Yücepe; Esatbeyoglu, 2026). Esse processo pode ocorrer em diferentes configurações, como leito fixo e leito fluidizado, sendo este frequentemente associado a fontes complementares de energia, como micro-ondas, favorecendo o aquecimento interno e a movimentação da água no alimento (Santana e Silva *et al.*, 2021; Pateiro *et al.*, 2022). A secagem por micro-ondas utiliza energia eletromagnética para promover aquecimento volumétrico rápido, reduzindo significativamente o tempo de processamento e o consumo energético quando comparada aos métodos convencionais (Santana e Silva *et al.*, 2021; Süfer *et al.*, 2025). Quando associada ao vácuo, essa tecnologia minimiza danos térmicos, reduz a oxidação e preserva compostos sensíveis ao calor, resultando em produtos com melhor qualidade nutricional e sensorial (Marzuki *et al.*, 2021; Pateiro *et al.*, 2022; Redha; Yücepe; Esatbeyoglu, 2026).

Entre as técnicas que proporcionam maior preservação da qualidade das frutas destaca-se a liofilização, processo que envolve o congelamento seguido da sublimação da água sob condições de baixa pressão e temperatura (Marzuki *et al.*, 2021; Vega-Gálvez *et al.*, 2022; Süfer *et al.*, 2025). Embora apresente custos mais elevados e maior tempo de processamento, esse método preserva de forma eficiente compostos termolábeis, bioativos e características

sensoriais dos alimentos (Marzuki *et al.*, 2021; Chobot *et al.*, 2024). Outras técnicas amplamente empregadas incluem a secagem por atomização (spray drying), utilizada principalmente para obtenção de pós a partir de polpas líquidas, e a secagem em camada de espuma, que produz alimentos porosos, de fácil reidratação e menor custo operacional em comparação à liofilização (Santana e Silva *et al.*, 2021).

Tecnologias emergentes têm recebido crescente atenção devido à sua capacidade de melhorar a eficiência da secagem e preservar atributos de qualidade. Entre elas destacam-se a secagem por infravermelho, que promove aquecimento rápido e reduz o tempo de exposição térmica (Pateiro *et al.*, 2022; Süfer *et al.*, 2025), e a tecnologia de Janela de Refractância (RW), que utiliza um meio líquido para transferência eficiente de calor em temperaturas moderadas, preservando nutrientes, compostos bioativos e características sensoriais de forma mais eficiente do que a secagem convencional por ar quente (Pateiro *et al.*, 2022; Redha; Yücepepe; Esatbeyoglu, 2026; Süfer *et al.*, 2025).

Para aumentar ainda mais a eficiência dos processos de secagem, diferentes pré-tratamentos vêm sendo empregados, incluindo ultrassom, centrifugação, branqueamento térmico e químico, imersão em etanol, campos elétricos pulsados e aquecimento ôhmico (Chaves; Junior; Castro, 2021; Agbede *et al.*, 2023; Suo *et al.*, 2024). Segundo Agbede *et al.* (2023) e Xu *et al.* (2022), esses tratamentos promovem alterações na permeabilidade das membranas celulares, facilitando a migração da umidade e reduzindo a oxidação de nutrientes.

O ultrassom de alta potência tem se destacado devido ao fenômeno da cavitação acústica, responsável pela formação de microcanais nos tecidos vegetais, aumentando a permeabilidade celular e favorecendo a transferência de massa (Jafari; Sab; Darvishi, 2025; Sakooei-Vayghan *et al.*, 2020). Essas alterações estruturais intensificam a difusão da água sem elevar significativamente a temperatura, fator essencial para a preservação da qualidade de frutas sensíveis (Xu *et al.*, 2022; Jafari; Sab; Darvishi, 2025). Além disso, o ultrassom promove a inativação parcial de enzimas oxidativas, contribuindo para a manutenção da coloração natural das frutas (Xu *et al.*, 2022; Süfer *et al.*, 2025). Em muitos casos, essa tecnologia é associada à desidratação osmótica, originando a desidratação osmótica assistida por ultrassom (UOD), que aumenta significativamente a eficiência da transferência de massa e reduz o tempo total de secagem (Sakooei-Vayghan *et al.*, 2020; Süfer *et al.*, 2025).

Outro pré-tratamento investigado é a imersão em soluções de etanol. De acordo com Cunha *et al.* (2020) e Suo *et al.* (2024), o etanol reduz a tensão superficial da água e modifica a microestrutura da fruta, facilitando sua evaporação durante a secagem subsequente. Estudos relatam reduções de aproximadamente 40% no tempo de secagem de melões, além de melhor

preservação de carotenoides quando associado ao ultrassom.

Os Campos Elétricos Pulsados (PEF) constituem outra tecnologia promissora, promovendo a permeabilização quase instantânea das membranas celulares por meio da aplicação de pulsos elétricos de alta intensidade (Jafari; Sab; Darvishi, 2025). Esse processo aumenta a velocidade de secagem, reduz o consumo energético e favorece a retenção de pigmentos naturais e compostos antioxidantes (Pateiro *et al.*, 2022; Suo *et al.*, 2024; Süfer *et al.*, 2025). De forma semelhante, o aquecimento ôhmico gera aquecimento rápido e uniforme por efeito Joule, promovendo a desnaturação quase instantânea de enzimas oxidativas e minimizando perdas nutricionais quando comparado aos métodos convencionais (Makroo; Srivastava; Jabeen, 2022; Priyadarshini *et al.*, 2023). Além disso, o campo elétrico aplicado durante o processo promove eletroporação, favorecendo a transferência de massa em etapas subsequentes e podendo reduzir o tempo total de processamento em até 50% (Chaves; Junior; Castro, 2021).

O branqueamento também é amplamente utilizado antes da secagem para reduzir a carga microbiana e inativar enzimas responsáveis pelo escurecimento enzimático (Tynarbekova *et al.*, 2025; Agbede *et al.*, 2023; Pateiro *et al.*, 2022). Quando realizado por aquecimento ôhmico, apresenta maior rapidez e uniformidade térmica, reduzindo a degradação de compostos sensíveis ao calor, embora exija controle adequado para evitar alterações sensoriais (Priyadarshini *et al.*, 2023; Jafari; Sab; Darvishi, 2025).

Além das tecnologias físicas, diversas estratégias vêm sendo empregadas para substituir os sulfitos em frutas desidratadas. Entre elas destacam-se os ácidos orgânicos, especialmente o ácido ascórbico e o ácido cítrico, que reduzem o pH do alimento e inibem a atividade da polifenoloxidase (Khan *et al.*, 2020; Suo *et al.*, 2024; Tynarbekova *et al.*, 2025). Esses compostos podem ser incorporados a revestimentos comestíveis, potencializando sua ação antioxidante e antimicrobiana (Sakooei-Vayghan *et al.*, 2020; Süfer *et al.*, 2025).

Os revestimentos comestíveis, produzidos a partir de biopolímeros como pectina, alginato, quitosana e amido formam películas protetoras na superfície das frutas, atuando como barreiras ao oxigênio, calor e perda de umidade (Sakooei-Vayghan *et al.*, 2020; Chaves; Junior; Castro, 2021; Pateiro *et al.*, 2022). Além de reduzirem as reações oxidativas e o escurecimento superficial, esses revestimentos funcionam como veículos para antioxidantes e conservantes naturais (Oliveira; Mendes, 2021; Suo *et al.*, 2024). Paralelamente, o plasma frio surge como uma tecnologia de superfície capaz de criar microporos e reduzir a carga microbiana, melhorando a cinética de secagem e a capacidade de reidratação das frutas (Pateiro *et al.*, 2022; Suo *et al.*, 2024; Süfer *et al.*, 2025).

A substituição da sulfitação e da fumigação no processamento de frutas desidratadas tem recebido atenção crescente devido aos riscos associados ao dióxido de enxofre e seus derivados. Embora esses compostos sejam amplamente utilizados como antimicrobianos e agentes antiescurecimento, estudos apontam sua associação a reações de hipersensibilidade, irritações, problemas respiratórios e potenciais efeitos adversos à saúde, além de impactos negativos sobre as características sensoriais das frutas (Hajri *et al.*, 2022; Aldabayan, 2025; Bhujel *et al.*, 2025; Novello *et al.*, 2017; Abidi *et al.*, 2023; Rustamova *et al.*, 2024). Dessa forma, observa-se uma crescente busca por alternativas alinhadas ao conceito *clean label*, capazes de garantir a segurança microbiológica e a estabilidade dos produtos sem os efeitos indesejáveis associados à sulfitação (Guan *et al.*, 2023; Sheng; Wang, 2023; Aktag; Comert; Gokmen, 2026).

4.2. Prospecção Patentária

A busca na base de dados Espacenet resultou em 109 documentos. A análise da distribuição geográfica desses documentos demonstrou predominância da China, responsável por 63,3% dos documentos identificados, seguida por República da Coreia (11%), Estados Unidos da América (8,3%) e Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI/WIPO) (5,5%), totalizando 88% dos depósitos. Os demais 12% estão distribuídos entre países como Japão, Austrália, Canadá, Alemanha, Espanha, Romênia e Taiwan. Após leitura do título, resumo e reivindicação, foram considerados 7 arquivos como relevantes ao escopo do presente trabalho (Tabela 01).

Tabela 01: Documentos patentários identificados como relevantes na pesquisa realizada.

Código	Título da Patente	Data Publicação
CN107232537A	Método de produção de fatias de maçã crocantes e saudáveis com sabor refrescante.	10/10/2017
CN108522641A	Método de preparo de mangas secas.	14/09/2018
CN109043099A	Método de preparo de mangas secas capaz de reduzir os níveis de lipídios no sangue.	21/12/2018
CN109043101A	Método de preparação da manga seca.	21/12/2018
CN114732102A	Agente de secagem rápida para remoção de cera e proteção da cor em frutos frescos de goji berry chinês e aplicação de agente de secagem rápida para remoção de cera e proteção da cor.	12/07/2022
CN115812831A	Método para inibir o escurecimento de ameixas em conserva.	21/03/2023
CN120694327A	Método de proteção da cor sem enxofre, assistido por vácuo, para morangos em conserva.	26/09/2025

Fonte: Própria (2026)

Diversas invenções têm sido desenvolvidas com o objetivo de reduzir o escurecimento enzimático e preservar as características sensoriais de frutas desidratadas e conservadas sem o

uso excessivo de SO₂. O documento CN107232537A descreve a produção de chips de maçã desidratada por meio da imersão em solução de cloreto de sódio e branqueamento a vapor, seguida de secagem por micro-ondas a vácuo, estratégia voltada para a manutenção da qualidade e redução do escurecimento. De forma semelhante, o documento CN108522641A apresenta um método para preparo de mangas desidratadas envolvendo pré-tratamento, esterilização, imersão em solução protetora de cor e secagem a quente entre 60 e 70°C, utilizando mangas parcialmente maduras tratadas com etrel, permanganato de potássio e solução açucarada contendo agente protetor de cor.

Nos documentos CN109043099A e CN109043101A, os métodos propostos para obtenção de mangas desidratadas incluem aceleração da maturação, proteção da cor e secagem a quente, com destaque para a redução da atividade da PPO e da peroxidase, além da diminuição do teor residual de SO₂. O documento CN109043099A também incorpora a imersão das fatias em extrato da casca de manga, visando preservar cor e sabor e minimizar o escurecimento durante o processamento e armazenamento.

Outras abordagens incluem o uso de agentes antioxidantes e fixadores de cor alternativos. O documento CN114732102A descreve um agente de secagem para goji berry composto por carbonato de sódio, carbonato de potássio, eritorbato de sódio e óleo essencial de casca de laranja, capaz de remover a camada cerosa do fruto, preservar a cor e o sabor e evitar o escurecimento sem utilização excessiva de SO₂. Já o documento CN115812831A apresenta um método para inibição do escurecimento de ameixas em conserva por meio de branqueamento associado ao uso de fixador de cor, reduzindo o escurecimento sem adição de sulfitos e mantendo a qualidade sensorial do produto.

O documento CN120694327A propõe um método livre de enxofre para proteção da cor de morangos em conserva, utilizando ácido cítrico, cloreto de cálcio e L-cisteína em condições de vácuo. O método visa reduzir o escurecimento, preservar as antocianinas e manter a estabilidade da coloração do produto final. Em conjunto, essas invenções evidenciam a busca por tecnologias alternativas ao uso de sulfitos, priorizando a preservação da cor, do sabor e da qualidade das frutas desidratadas.

A prevalência de pesquisas bibliográficas sobre os documentos patentários é evidenciada em diversos campos do conhecimento, apresentando volumes de artigos científicos significativamente superior aos depósitos de patentes (Moura; Caregnato, 2011; Silva *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2024). De acordo com Moura e Caregnato (2011), essa diferença decorre de regimes de conhecimento distintos. A pesquisa científica é regida pela "ciência aberta", que trata o conhecimento como um bem público e incentiva a disseminação livre para o debate entre

pares, enquanto a tecnologia segue um regime "proprietário", no qual o conhecimento é um bem privado e o sigilo é mantido para restringir a informação até que a garantia da patente seja concedida. Os autores destacam que a prospecção científica é mais fácil de ocorrer e propensa a gerar relações interinstitucionais, ao passo que patentes são frequentemente mais restritas a quem efetivamente produziu a tecnologia (Moura; Caregnato, 2011)

De acordo com Silva *et al.* (2017) e Santos *et al.* (2024), embora o interesse acadêmico em temas inovadores seja crescente, essa produção muitas vezes se concentra em estágios iniciais de maturidade tecnológica que ainda não se traduziram em produtos comerciais ou em parcerias com o setor empresarial, o que resulta em uma maior produção de literatura técnica em detrimento da proteção por patentes.

CONCLUSÕES

A análise da prospecção tecnológica e científica tratada neste estudo evidenciou um crescente esforço global para a substituição do dióxido de enxofre e seus sais no processamento de frutas desidratadas. No âmbito científico, os estudos indicam que a eliminação do dióxido de enxofre, aliada ao uso de tecnologias emergentes, indicam elevado potencial para a qualidade do produto final. Tecnologias emergentes como o ultrassom de alta potência, campos elétricos pulsados, aquecimento ôhmico e plasma frio, frequentemente associados à desidratação osmótica, têm se destacado. Essas alternativas provaram ser capazes de acelerar a transferência de massa, reduzir o tempo e o custo energético da secagem, e, o mais importante, preservar as propriedades sensoriais, a cor natural e os compostos bioativos e termolábeis das frutas sem a necessidade de adição de sulfitos. Os métodos alternativos à sulfitação na desidratação de frutas apresentam limitações econômicas e industriais, devido ao alto custo da liofilização, que pode ser até oito vezes superior ao da secagem convencional, ao elevado investimento em tecnologias como plasma frio e preparados enzimáticos e às dificuldades de escalabilidade do ultrassom e da desidratação osmótica. Além disso, a ausência de sulfitos reduz a proteção antimicrobiana, favorecendo a sobrevivência de patógenos como *Salmonella* e *Listeria*, uma vez que a baixa atividade de água, isoladamente, não garante sua eliminação. O mapeamento patentário revelou uma expressiva liderança da China, no desenvolvimento de inovações voltadas ao controle do escurecimento enzimático e não enzimático. As invenções mais promissoras não dependem de uma única solução, mas sim da combinação de métodos físicos avançados (como secagem a vácuo e micro-ondas) e barreiras químicas naturais (como o uso de ácidos orgânicos, extratos vegetais e revestimentos comestíveis). Apesar do crescente número de estudos sobre tecnologias alternativas aos sulfitos, ainda são escassos trabalhos que integrem

simultaneamente evidências científicas e documentos patentários, permitindo compreender o estágio de maturidade tecnológica da área.

REFERÊNCIAS

ABIDI, W. *et al.* Sodium metabisulfite dipping, hot water blanching and sulfur fumigation impact on the nutritional quality of dried apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars. **North African Journal of Food Nutrition Research**, v. 7, n. 15, p. 59-68, 2023.

AGBEDE, O. O. *et al.* Solar and open sun drying of untreated and pretreated banana stalk chips biomass: a sustainable processing of biomass using renewable solar energy. **Discover Food**, 3:17, 2023.

AKTAG, I. G. *et al.* Effects of sulfuring, drying and storage on the formation of α -dicarbonyl compounds and 5-hydroxymethylfurfural in dried apricots. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 150, 108904, fev., 2026.

ALDABAYAN, Y. S. Effect of Artificial Food Additives on Lung Health—An Overview. **Medicina**, v. 61, n. 4, p. 684, 2025.

ALMEIDA, K. M. *et al.* Análise dos conservantes e suas consequências pro grupo infantil. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 9, 2023.

BECKERT, J. The firm as an engine of imagination: Organization prospection and the making of economic futures. **Organization Theory**, v.2, n.2, 2021.

BHAGYA RAJ, G. V. S.; DASH, K. K. Ultrasound assisted osmotic dehydration of dragon fruit slices: Modeling and optimization using integrated artificial neural networks and genetic algorithms. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, e16993, 2022.

BHUJEL, N. K. *et al.* Comparison of three different methods for the determination of sulphur dioxide in fruit and vegetable products. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 43, n. 1, p. 1–7, 2025.

ÇETIN, N.; SAĞLAM, C. Effects of ultrasound pretreatment assisted drying methods on drying characteristics, physical and bioactive properties of windfall apples. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 103: 534–547, 2022.

CHAVES, M. A.; JUNIOR, H. C. M. S.; CASTRO, S. S. Técnica e aplicações da desidratação osmótica: uma revisão. In: **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 5, cap. 30, 2021.

CHOBOT, M. *et al.* Development of drying and roasting processes for the production of plant-based pro-healthy snacks in the light of nutritional trends and sustainable techniques. **Trends in Food Science & Technology**, v. 149, 104553, 2024.

CUNHA, R. M. C. *et al.* Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. **Food Chemistry**, v. 333, 127502, 2020.

DIOP, A. *et al.* Impact of Special Drying Schemes on Color Stability of Mangoes with Different Maturity Degrees. **Foods**, 11, 656, 2022.

DORDEVIC, D. *et al.* Sulfur content in foods and beverages and its role in human and animal metabolism: A scoping review of recent studies. **Heliyon**, v. 9, e15452, 2023.

EKSTEIN, S. F.; WARSHAW, E. M. Sulfites: Allergen of the Year 2024. **Dermatitis**, 2023.

EUROPEAN PATENT OFFICE. Espacenet: patent search. Munique, 2026.

GUAN, J. *et al.* Evaluation of how sulfur-fumigation reduces the edible quality and flavor of *Gastrodia elata* Blume Rhizoma. **LWT - Food Science and Technology**, 187 115296, 2023.

HAJRI, Z. *et al.* Effect of Cooking and Washing on Sulfites (SO₂) Content of Dried Fruits. In: **Moroccan Association for Applied Sciences and Innovation**, p. 68-72, 2022.

JAFARI, F.; SAB, M. K.; DARVISHI, H. Solar-dried fig quality: A comparative study of ultrasonic, ohmic blanching, and sulfur dioxide pre-treatments on bioactive retention, antioxidant activity, and physical properties. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 104, 104105, 2025.

KAYRAN, S.; DOYMAZ, I. Drying of Cataloglu Apricots: The Effect of Sodium Metabisulfite Solution on Drying Kinetics, Diffusion Coefficient, and Color Parameters. **International Journal of Fruit Science**, v. 21, n. 1, p. 270–283, 2021.

KHAN, M. R. *et al.* Natural treatments for packaged longan fruit. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 2, p. 500-508, 2020.

KONTAXAKIS, E. *et al.* Enhanced Grape Drying Using Indirect Solar Dryers: Improved Quality and Safety of Raisins. **Journal of Food Protection**, v. 87, 100342, 2024.

KVAVILASHVILI, L.; RUMMEL, J. On the nature of everyday prospection: A review and theoretical integration of research on mind, wandering, future, thinking and prospective memory. **Review of General Psychology**, v.24, n.3, p. 210-237, 2020.

MAI, T. H. A.; TRAN, T. T. T.; LE, V. V. M. Protection of antioxidants in pitaya (*Hylocereus undatus*) peel: effects of blanching conditions on polyphenoloxidase, peroxidase and antioxidant activities. **Food Science and Technology**, v. 42, e62321, 2022.

MAKROO, H. A.; SRIVASTAVA, B.; JABEEN, A. Influence of mild electric field (MEF) on polyphenol oxidase and quality attributes of pineapple juice during ohmic heating. **LWT - Food Science and Technology**, v. 156, 113021, 2022.

MARZUKI, S. U. *et al.* Effect of blanching pretreatment and microwave-vacuum drying on drying kinetics and physicochemical properties of purple-fleshed sweet potato. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 2884–2895, 2021.

MIRANDA, G.; BERNA, A.; MULET, A. Evolution of Colour in Dried Fruit Storage: Relation between Colour and SO₂ Content. **International Journal of Innovative Science and Research Technology**, v. 6, n. 12, dez. 2021.

MOURA, A. M. M.; CAREGNATO, S. E. Co-autoria em artigos e patentes: um estudo da interação entre a produção científica e tecnológica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.16, n.2, p.153-167, abr./jun., 2011.

NOVELLO, V. *et al.* Alternatives for the use of SO₂ and other preservatives for the production of table grapes. 1. ed. Paris: **OIV - International Organisation of Vine and Wine**, ISBN 979-10-91799-78-2, out., 2017.

OLIVEIRA, V. C.; MENDES, F. Q. Técnicas de preservação pós-colheita de frutas e hortaliças: uma revisão narrativa. In: **Ciência e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas**, v. 2, p. 719-733, 2021.

PATEIRO, M. *et al.* The role of emerging technologies in the dehydration of berries: Quality, bioactive compounds, and shelf life. **Food Chemistry: X**, v. 16, 100465, 2022.

PRIYADARSHINI, A. *et al.* Impact of conventional and ohmic blanching on color, phytochemical, structural, and sensory properties of mango (*Mangifera indica* L.) cubes: A comparative analysis. **Food Chemistry Advances**, v. 2, 100308, 2023.

REDHA, A. A.; YÜCETEPE, A.; ESATBEYOGLU, T. Impact of drying technologies on bioactive composition of fruit pomace: a critical review and future perspectives. **Food Chemistry: X**, v. 36, 103929, 2026.

RUSTAMOVA, R. *et al.* **Study on sulfitation of fruits and berries: Methods of sulfitation and desulfitation**. Tashkent: National University of Uzbekistan, 2024.

SAÇKESEN, S. N. D. *et al.* Unveiling the Potential of EU PDO Registered Malatya Apricot (*Prunus armeniaca* L.): Compositional, Functional, Nutritional, and Economic Aspects. **ACS Food Science Technology**, v. 5, p. 909–924, 2025.

SAGHAFI, Maryam *et al.* Analysis and probabilistic health risk assessment of some trace elements contamination and sulphur dioxide residual in raisins. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, 2021.

SAKOOEI-VAYGHAN, R. *et al.* Properties of Dried Apricots Pretreated by Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration and Application of Active Coatings. **Food Technology & Biotechnology**, v. 58, n. 3, p. 249-259, 2020.

SANTANA E SILVA, A. B. *et al.* Técnicas de secagem de frutas: uma revisão. **Scientific Electronic**, v. 14, n. 10, out., 2021.

SANTOS, T. B. *et al.* Prospecção Tecnológica e Científica das Atividades Biológicas do Gênero *Sterculia* para Aplicação na Área da Saúde. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 17, n. 5, p. 1321-1336, 2024.

SHENG, L.; WANG, L. Approaches for a more microbiologically and chemically safe dried fruit supply chain. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 80, p. 102912, 2023.

SILVA, F. V. M.; SULAIMAN, A. Control of Enzymatic Browning in Strawberry, Apple,

and Pear by Physical Food Preservation Methods: Comparing Ultrasound and High-Pressure Inactivation of Polyphenoloxidase. **Foods**, v. 11, n. 13, 1942, 2022.

SILVA, J. B. B. *et al.* Fungos Filamentosos como Inibidores de Corrosão: estudo prospectivo. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 11, n. 2, p. 640-652, jun., 2017.

SOMJAI, C. *et al.* Utilization of Maillard reaction in moist-dry-heating system to enhance physicochemical and antioxidative properties of dried whole longan fruit. **Heliyon**, v. 7, e07094, 2021.

STAUFFER, C. B.; TAT, J. Toxic Effects of Sulfur Dioxide: A Review. **Toxics**, v. 62, 2026.

SÜFER, Ö. *et al.* Evaluation of the Effect of Sustainable Drying Techniques and Intensification Technologies on Color Profile of Dehydrated Fruits and Vegetables. **Food and Bioprocess Technology**, v. 18, p. 3148–3194, 2025.

SUO, K. *et al.* Enhancing drying characteristics and quality of fruits and vegetables using biochemical drying improvers: A comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science Food Safety**, 24: e70094, 2024.

TAWFIK, M. F. *et al.* Removal of Sulfur Dioxide from Dried Grapes before Handling. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 68, n. 5, p. 61–68, 2025.

TYNARBKOVA, M. *et al.* Effects of pre-treatment methods on the physical properties, phenolic composition, antioxidant capacity in vitro, and microbiological safety indicators of dried apricot (*Prunus Armeniaca* L.). **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 19, p. 9976–9986, 2025.

UĞUR, Y.; ERDOĞAN, S. The effect of hydrogen peroxide used in desulfurization of dried apricot on the antioxidant capacity and phenolic compound content of the fruit. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 15:3708–3719, 2021.

VEGA-GÁLVEZ, A. *et al.* Low-temperature vacuum drying as novel process to improve papaya (*Vasconcellea pubescens*) nutritional-functional properties. **Future Foods**, v. 5, p. 100117, 2022.

VINCENZI, D.; MENDES, L. J.; MOTA, V. M.. Aditivos como conservantes químicos. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 9, set., 2021.

XU, B. *et al.* Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: A review. **Food Research International**, v. 152, p. 110744, 2022.

YANCLO, L. A. Impact of electrolyzed water as pre-treatments on drying properties and total colour difference of fresh-cut ‘Tommy Atkins’ mangoes. **Heliyon**, v.9, e18555, 2023.