



APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS, ESTABILIDADE E ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DOS FRUTOOLIGOSSACARÍDEOS EM ALIMENTOS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

APLICACIONES TECNOLÓGICAS, ESTABILIDAD Y ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN DE LOS FRUTOOLIGOSACÁRIDOS EN ALIMENTOS: UNA REVISIÓN INTEGRADORA

TECHNOLOGICAL APPLICATIONS, STABILITY AND PROTECTION STRATEGIES OF FRUCTOOLIGOSACCHARIDES IN FOODS: AN INTEGRATIVE REVIEW

Apresentação: Comunicação Oral Gravada

José Lucas Cardoso Magalhães¹; Flávio Francisco Martins²; Ordarlei José Aparecido Silva³; Marieli de Lima⁴

DOI: <https://doi.org/10.31692/VIICIAGRO.0046>

RESUMO

Os frutooligosacarídeos (FOS) são carboidratos não digeríveis amplamente reconhecidos por seu potencial prebiótico e pelas suas aplicações tecnológicas na indústria de alimentos. O presente trabalho teve como objetivo revisar o conhecimento científico acerca das propriedades tecnológicas, da estabilidade durante o processamento e das estratégias de proteção dos FOS em diferentes matrizes alimentares. A pesquisa consistiu em uma revisão integrativa da literatura, de caráter exploratório e descritivo, realizada por meio de consultas às bases *ScienceDirect*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*, utilizando descritores relacionados aos FOS, suas propriedades tecnológicas, estabilidade térmica e aplicações alimentícias. Um mapa de coocorrência de palavras-chave foi elaborado usando o *software* VOSViewer. Os resultados demonstraram que os FOS apresentam elevada solubilidade, capacidade de retenção de água, baixo valor calórico e perfil sensorial semelhante ao da sacarose, possibilitando sua aplicação em produtos lácteos, panificação, bebidas funcionais e produtos cárneos. Além disso, contribuem para a melhoria da textura, estabilidade e aceitabilidade sensorial dos alimentos. Entretanto, observou-se que a principal limitação tecnológica está relacionada à sua suscetibilidade à hidrólise em condições de baixo pH associadas ao processamento térmico convencional, comprometendo parcialmente sua funcionalidade prebiótica. Em contrapartida, tecnologias emergentes, como alta pressão hidrostática, plasma frio e ultrassom, apresentaram elevada eficiência na preservação da estrutura molecular dos FOS. Adicionalmente, a microencapsulação associada à secagem por atomização mostrou-se uma estratégia promissora para aumentar a estabilidade, proteger os compostos bioativos e ampliar sua aplicação industrial. Conclui-se que os FOS representam ingredientes multifuncionais de grande relevância para o desenvolvimento de alimentos funcionais, sendo essencial a adoção de tecnologias de processamento e proteção adequadas para garantir a manutenção de suas propriedades tecnológicas e fisiológicas ao longo da cadeia produtiva.

¹ Mestrando em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia (Campus Patos de Minas), lucasmagalhaes45@ufu.br

² Mestrando em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia (Campus Patos de Minas), flavio.martins@ufu.br

³ Mestrando em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia (Campus Patos de Minas), ordarlei.silva@ufu.br

⁴ Docente, Universidade Federal de Uberlândia (Campus Patos de Minas), marieli@ufu.br

Palavras-chave: Fructooligosacarídeos, Prebióticos, Estabilidade térmica, Microencapsulação, Alimentos funcionais.

RESUMEN

Los fructooligosacáridos (FOS) son carbohidratos no digeribles ampliamente reconocidos por su potencial prebiótico y por sus aplicaciones tecnológicas en la industria alimentaria. El presente trabajo tuvo como objetivo revisar el conocimiento científico relacionado con las propiedades tecnológicas, la estabilidad durante el procesamiento y las estrategias de protección de los FOS en diferentes matrices alimentarias. La investigación consistió en una revisión integradora de la literatura, de carácter exploratorio y descriptivo, realizada mediante consultas en las bases de datos *ScienceDirect*, *Scopus*, *Web of Science* y *Google Scholar*. Se creó un mapa de coocurrencia de palabras clave utilizando el *software* VOSViewer. Los resultados demostraron que los FOS presentan alta solubilidad, capacidad de retención de agua, bajo aporte calórico y un perfil sensorial similar al de la sacarosa, permitiendo su aplicación en productos lácteos, panificados, bebidas funcionales y productos cárnicos. Asimismo, contribuyen a mejorar la textura, la estabilidad y la aceptación sensorial de los alimentos. Sin embargo, se observó que la principal limitación tecnológica está asociada a su susceptibilidad a la hidrólisis en condiciones de bajo pH combinadas con tratamientos térmicos convencionales, comprometiendo parcialmente su funcionalidad prebiótica. Por otro lado, tecnologías emergentes como la alta presión hidrostática, el plasma frío y el ultrasonido mostraron una elevada eficacia en la preservación de la estructura molecular de los FOS. Además, la microencapsulación asociada al secado por atomización se destacó como una estrategia prometedora para aumentar la estabilidad, proteger los compuestos bioactivos y ampliar su aplicación industrial. Se concluye que los FOS constituyen ingredientes multifuncionales de gran importancia para el desarrollo de alimentos funcionales, siendo fundamental la adopción de tecnologías adecuadas de procesamiento y protección para garantizar el mantenimiento de sus propiedades tecnológicas y fisiológicas.

Palabras clave: Fructooligosacáridos, Prebióticos, Estabilidad térmica, Microencapsulación, Alimentos funcionales.

ABSTRACT

Fructooligosaccharides (FOS) are non-digestible carbohydrates widely recognized for their prebiotic potential and technological applications in the food industry. This study aimed to review the scientific knowledge regarding the technological properties, processing stability, and protection strategies of FOS in different food matrices. The research consisted of an exploratory and descriptive integrative literature review carried out using *ScienceDirect*, *Scopus*, *Web of Science*, and *Google Scholar* databases. A keyword co-occurrence map was created using VOSViewer software. The results showed that FOS exhibit high solubility, water-holding capacity, low caloric value, and a sensory profile similar to sucrose, enabling their application in dairy products, bakery goods, functional beverages, and meat products. Furthermore, they contribute to improving texture, stability, and sensory acceptance. However, the main technological limitation identified was their susceptibility to hydrolysis under low pH conditions combined with conventional thermal processing, which may partially compromise their prebiotic functionality. In contrast, emerging technologies such as high hydrostatic pressure, cold plasma, and ultrasound demonstrated high efficiency in preserving the molecular structure of FOS. In addition, microencapsulation combined with spray-drying proved to be a promising strategy for enhancing stability, protecting bioactive compounds, and expanding industrial applications. It can be concluded that FOS are multifunctional ingredients of great importance for the development of functional foods, and the adoption of suitable processing and protection technologies is essential to preserve their technological and physiological properties throughout the food production chain.

Keywords: Fructooligosaccharides, Prebiotics, Thermal stability, Microencapsulation, Functional foods.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos que promovam a saúde e a sustentabilidade tem impulsionado a inovação no desenvolvimento de ingredientes e bebidas funcionais. Os consumidores estão cada vez mais interessados em produtos que ofereçam dulçor natural, redução calórica e

funcionalidade fisiológica adicional (Chaichana et al., 2026). Nesse cenário, a indústria de alimentos tem buscado a aplicação de compostos diferenciados que possuam boas propriedades funcionais e que, simultaneamente, apresentem excelente aceitabilidade do ponto de vista sensorial (Macedo et al., 2020).

Dentre os carboidratos bioativos, os frutooligossacarídeos (FOS) têm atraído atenção crescente devido ao seu expressivo potencial prebiótico e aos efeitos benéficos na saúde intestinal (Chaichana et al., 2026). Os FOS são oligossacarídeos não digeríveis que promovem seletivamente o crescimento de microbiota intestinal benéfica, como *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*. Atuando como fibras solúveis, esses componentes alimentares resistem à hidrólise enzimática no trato digestivo, chegando intactos ao intestino grosso, onde são fermentados, o que leva à produção de ácido láctico e ácidos graxos de cadeia curta, promovendo a consequente diminuição do pH intestinal (Macedo et al., 2020). Fisiologicamente, Macedo et al. (2020) ressaltam que a ingestão de FOS está associada à redução do risco de doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade, além de atuar no aumento da absorção de determinados minerais.

As estimativas de mercado indicam que, em 2022, o segmento global de FOS foi avaliado em cerca de US\$ 2,59 bilhões, com projeção de crescimento a uma taxa anual composta de aproximadamente 8,8% até 2030, impulsionado pela demanda das indústrias de bebidas, suplementos, fórmulas infantis e nutracêuticos, sendo a Europa responsável pela maior fatia desse mercado (Rawat et al., 2024).

Do ponto de vista da tecnologia de alimentos, os FOS constituem o ingrediente funcional à base de carboidratos mais aplicado na indústria (Alves Filho et al., 2016). Eles se caracterizam por uma excelente aceitação sensorial e apresentam um perfil adoçante semelhante ao da sacarose, porém entregando apenas cerca de 35% de sua doçura característica (Macedo et al., 2020). Além de seu baixo poder calórico, destacam-se por apresentarem maior solubilidade e capacidade de retenção de água do que a sacarose, não cristalizarem e possuírem a capacidade de alterar a temperatura de congelamento dos alimentos. Como possuem propriedades físicas semelhantes às da sacarose e não alteram a viscosidade dos produtos de forma indesejada, os FOS são frequentemente utilizados para melhorar a sensação bucal (*mouthfeel*) das formulações, aprimorando a qualidade sensorial sem a formação de cristais.

Apesar da ampla versatilidade de aplicação, um dos maiores desafios tecnológicos reside na estabilidade desses compostos frente ao processamento, visto que os FOS são conhecidos por hidrolisar quando submetidos a tratamentos térmicos (Alves Filho et al., 2016). Processos térmicos convencionais, como a pasteurização e a esterilização, especialmente quando associados a matrizes alimentares de baixo pH, podem desencadear a hidrólise completa desses polímeros, resultando na

perda parcial de suas propriedades funcionais (Macedo et al., 2020). Diante desse desafio, estratégias como a bioconversão enzimática e o aproveitamento de matrizes ricas em sacarose surgem como alternativas para preservar e enriquecer o produto, mas também para reduzir o desperdício agrícola e promover a eficiência de recursos em sistemas alimentares (Chaichana et al., 2026).

Logo, o presente trabalho teve como objetivo revisar, de forma integrativa, o conhecimento científico acerca das propriedades tecnológicas e sensoriais dos FOS, sua estabilidade frente às condições de processamento de alimentos e das principais estratégias de proteção aplicadas para preservar sua funcionalidade nas diferentes matrizes alimentares. Buscou-se, ainda, sistematizar as aplicações dos FOS nos setores alimentícios, bem como identificar os desafios e as perspectivas relacionados à sua incorporação em escala industrial.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Fruto-oligossacarídeos: definição e estrutura química

Os fruto-oligossacarídeos (FOS) constituem uma classe de oligossacarídeos não digeríveis formados por unidades de frutose unidas por ligações glicosídicas do tipo β -(2 $\rightarrow$ 1), geralmente ligadas a uma molécula terminal de glicose proveniente da sacarose (Yun, 1996; Rahim et al., 2021). Sob a denominação genérica de FOS reúnem-se, principalmente, três oligômeros de baixo grau de polimerização: a 1-kestose (GF₂), a nistose (GF₃) e a 1F-frutofuranosil-nistose (GF₄), nos quais os resíduos de frutose se encontram sequencialmente ligados à porção sacarosídica (Yun, 1996; Rawat et al., 2024). Essa configuração β -(2 $\rightarrow$ 1) é determinante para a sua funcionalidade, uma vez que as enzimas digestivas humanas não a reconhecem, conferindo aos FOS o caráter de carboidrato resistente à digestão no trato gastrointestinal superior (Rahim et al., 2021).

Do ponto de vista estrutural, os FOS pertencem ao grupo das frutanas do tipo inulina, diferindo desta essencialmente pelo grau de polimerização: enquanto a inulina apresenta cadeias mais longas, os FOS caracterizam-se por um grau de polimerização reduzido, situado tipicamente entre dois e quatro monômeros (Rawat et al., 2024). Esse baixo grau de polimerização influencia diretamente propriedades como solubilidade, doçura residual e suscetibilidade à hidrólise, parâmetros de elevada relevância para o seu comportamento em matrizes alimentares (Macedo et al., 2020).

Origem e obtenção

Os FOS ocorrem naturalmente em diversas matrizes vegetais, sendo encontrados em alho, cebola, trigo, centeio, raízes de chicória, alcachofra de Jerusalém, banana e cana-de-açúcar, entre outras fontes botânicas (Rahim et al., 2021). Contudo, as concentrações naturais de FOS nessas plantas são frequentemente baixas e variáveis, o que limita a sua extração direta em escala industrial e justifica a busca por rotas de produção controladas (Rahim et al., 2021; Rawat et al., 2024).

Em escala comercial, a obtenção dos FOS apoia-se majoritariamente em processos biotecnológicos de transfrutossilacção, nos quais enzimas com atividade de frutossiltransferase (FTase) ou β -frutofuranosidase catalisam a transferência de unidades de frutose a partir da sacarose, gerando os oligômeros GF₂, GF₃ e GF₄ (Yun, 1996; Rawat et al., 2024). Microrganismos fúngicos, com destaque para espécies dos gêneros *Aspergillus* e *Aureobasidium*, figuram entre as principais fontes dessas enzimas, em razão de sua elevada atividade transfrutossilante e da viabilidade de produção em larga escala (Yun, 1996; Rawat et al., 2024). A síntese enzimática a partir da sacarose constitui, assim, a via predominante de produção industrial, por aliar simplicidade de processo, similaridade sensorial com o açúcar de partida e possibilidade de aproveitamento de matrizes ricas em sacarose (Yun, 1996; Chaichana et al., 2026).

Funcionalidade prebiótica e fisiológica

A principal característica funcional dos FOS é o seu efeito prebiótico, definido pela capacidade de estimular seletivamente o crescimento e a atividade de microrganismos benéficos do cólon, sobretudo dos gêneros *Bifidobacterium* e *Lactobacillus* (Rahim et al., 2021; Macedo et al., 2020). Por resistirem à hidrólise enzimática no trato digestivo superior, os FOS alcançam intactos o intestino grosso, onde são fermentados pela microbiota, resultando na produção de ácidos graxos de cadeia curta e na consequente redução do pH intestinal, ambiente desfavorável a microrganismos patogênicos (Rawat et al., 2024; Macedo et al., 2020).

Para além do efeito bifidogênico, a literatura associa o consumo regular de FOS a um conjunto amplo de benefícios fisiológicos, entre os quais a melhoria da absorção de minerais como cálcio e magnésio, a redução dos níveis séricos de colesterol e triacilgliceróis, o auxílio na modulação da glicemia e a contribuição para a saúde intestinal e imunológica (Rahim et al., 2021; Rawat et al., 2024). Esses efeitos, somados ao seu reduzido valor calórico, sustentam o enquadramento dos FOS como fibra alimentar solúvel e ingrediente nutracêutico de interesse para a formulação de alimentos funcionais (Rahim et al., 2021).

A combinação entre funcionalidade fisiológica e propriedades físico-químicas favoráveis posiciona os FOS como um dos ingredientes funcionais à base de carboidratos mais aplicados pela indústria de alimentos (Alves Filho et al., 2016; Macedo et al., 2020). A sua elevada solubilidade, a capacidade de retenção de água, a ausência de cristalização e o perfil de doçura semelhante ao da sacarose, ainda que com intensidade reduzida, viabilizam a sua incorporação em diferentes matrizes sem prejuízo dos atributos sensoriais dos produtos (Yun, 1996; Macedo et al., 2020).

METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma revisão integrativa da literatura sobre o comportamento

tecnológico dos fruto-oligossacarídeos (FOS) na matriz alimentar. A coleta de dados foi conduzida através de um levantamento bibliográfico nas principais bases de dados, como *ScienceDirect*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*. Para a estratégia de pesquisa, utilizou-se o cruzamento dos seguintes descritores (nos idiomas português e inglês) e operadores booleanos como *AND* e *OR*: "frutooligossacarídeos" (*fructooligosaccharides*), "frutooligossacarídeos e propriedades tecnológicas" (*fructooligosaccharides and technological properties*), "frutooligossacarídeos e estabilidade térmica" (*fructooligosaccharides and thermal stability*), "frutooligossacarídeos e tecnologias não-térmicas" (*fructooligosaccharides and non-thermal processing*), "frutooligossacarídeo e aplicação" (*fructooligosaccharide and applications*), "frutooligossacarídeo e aplicação ou frutooligossacarídeo em alimentos" (*fructooligosaccharide and its application or fructooligosaccharide in food*). Para mapear a estrutura do tema e identificar os principais agrupamentos de palavras-chave na literatura sobre FOS, foi realizada uma análise bibliométrica com o auxílio do *software* VOSviewer.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise bibliométrica

O levantamento final resultou em 30 trabalhos, abrangendo artigos de revisão, artigos experimentais e obras de referência. A caracterização desse conjunto quanto ao tipo de estudo e ao eixo temático predominante encontra-se sistematizada na Tabela 1.

A partir dos 256 artigos encontrados, observa-se que as 30 referências selecionadas na Tabela 1, possui metade dos trabalhos (15 estudos) é de natureza experimental, enquanto a outra parcela reúne artigos de revisão (13 trabalhos) e duas obras de referência. Quanto aos eixos temáticos, observa-se a predominância de dois grandes blocos: o das aplicações em matrizes alimentares com destaque para laticínios, panificação, bebidas e produtos cárneos e o da estabilidade frente ao processamento, sobretudo em relação ao pH e à temperatura. De forma complementar, observam-se eixos voltados às propriedades funcionais e nutracêuticas, às estratégias de proteção (microencapsulação e tecnologias não térmicas), à produção enzimática e, ainda, a aspectos como os custos de adoção industrial e a inserção dos FOS em alimentos ultraprocessados. Essa distribuição indica que o principal desafio a ser avaliado é a conservação da integridade estrutural dos FOS durante o processamento de matrizes ácidas, lacuna que, ao lado das questões de escalabilidade e viabilidade econômica, direciona as discussões subsequentes desta revisão.

A análise bibliométrica, elaborada a partir do levantamento de 256 artigos científicos com os descritores "*fructooligosaccharides*" e "*applications*" (sem restrição temporal), permitiu mapear a estrutura intelectual e as tendências de pesquisa consolidadas sobre o tema. O mapa de coocorrência

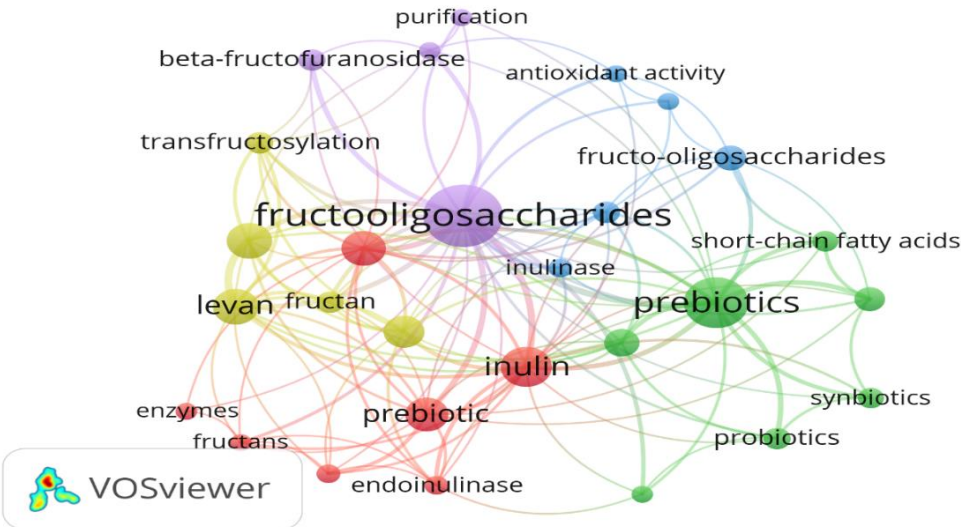
de palavras-chave (Figura 1), parametrizado para exibir termos com uma frequência mínima de cinco ocorrências, revela uma rede organizada em agrupamentos (*clusters*) temáticos distintos.

Tabela 1 - Caracterização das referências quanto ao tipo de estudo e ao eixo temático predominante.

REFERÊNCIA	TIPO DE ESTUDO	EIXO TEMÁTICO PRINCIPAL
Alves Filho et al. (2016)	Experimental	Estabilidade /tecnologias não térmicas
Bali et al. (2013)	Revisão	Aplicação em fórmulas infantis
Chaichana et al. (2026)	Experimental	Microencapsulação e inovação
Charalampopoulos & rastall (2012)	Livro	Estabilidade frente a pH/processamento
Courtin et al. (2009)	Experimental	Estabilidade térmica e de pH
Echegaray et al. (2022)	Revisão	Aplicação em produtos cárneos
Franck (2002)	Revisão	Funcionalidade tecnológica
Gentès et al. (2025)	Experimental	Custos / tecnologias não térmicas
Ghavidel et al. (2014)	Experimental	Aplicação em bebidas
Gruska et al. (2025)	Livro	Produção enzimática / valorização
González-tomás et al. (2008)	Experimental	Aplicação em laticínios
Kurek et al. (2025)	Experimental	Co-encapsulação (emulsões duplas)
L'homme et al. (2003)	Experimental	Cinética de hidrólise (FOS vs. sacarose)
Macedo, vimercati & Araújo (2020)	Revisão	Propriedades e aplicações (base)
Meyer et al. (2011)	Experimental	Aplicação em laticínios
Moscatto et al. (2004)	Experimental	Aplicação em panificação
Monteiro et al. (2019)	Revisão	Alimentos ultraprocessados
Niness (1999)	Revisão	Definição e funcionalidade
Padma & Prabhasankar (2014)	Revisão	Propriedades e aplicações
Park et al. (2016)	Experimental	Aplicação em panificação
Passos & Park (2003)	Revisão	Estabilidade (<i>Maillard</i> /caramelização)
Rahim et al. (2021)	Revisão	Propriedades funcionais e nutracêuticas
Rawat et al. (2024)	Revisão	Produção enzimática / prebiótico
Santana & Cardoso (2008)	Revisão	Propriedades tecnológicas
Silva et al. (2007)	Revisão	Estabilidade (<i>Maillard</i> /caramelização)
Tárrega et al. (2011)	Experimental	Aplicação em laticínios
Vega & Zuniga-hansen (2015)	Experimental	Estabilidade térmica e de pH
Wang et al. (2009)	Experimental	Estabilidade / processamento
Xavier-Santos et al. (2019)	Experimental	Aplicação simbiótica (sobremesas)
Yun (1996)	Revisão	Ocorrência, preparação e aplicação

Fonte: Própria (2026).

Figura 1 - Mapa de coocorrência de palavras-chave da literatura sobre fruto-oligossacarídeos (FOS), gerado no software VOSviewer.



Fonte: Própria (2026).

O nó central e de maior diâmetro, "fructooligosaccharides", atua como o eixo conector da rede, articulando-se fortemente com três grandes frentes de investigação:

Fisiologia e Saúde Intestinal (*Cluster Verde*): Este agrupamento concentra termos com forte apelo clínico e microbiológico, como "*prebiotics*", "*probiotics*", "*synbiotics*" e "*short-chain fatty acids*". Estas palavras-chave indicam que a maior parcela das aplicações investigadas na literatura global direciona-se à comprovação da eficácia dos FOS na modulação da microbiota intestinal e na produção de ácidos graxos de cadeia curta.

Síntese e Fontes Estruturais (*Clusters Vermelho, Amarelo e Roxo*): Estes agrupamentos evidenciam as rotas biotecnológicas de obtenção e os polímeros análogos. Termos como "*inulin*", "*levan*", "*fructan*", "*transfructosylation*", "*inulinase*" e "*beta-fructofuranosidase*" demonstram um forte foco da comunidade científica na produção enzimática e na purificação desses oligossacarídeos a partir de matrizes naturais.

Propriedades Funcionais Secundárias (*Cluster Azul*): Um agrupamento menor que correlaciona os FOS à "*antioxidant activity*", expandindo o entendimento de suas propriedades bioativas para além do efeito bifidogênico primário.

Propriedades Tecnológicas e Sensoriais

Os fructooligosacarídeos (FOS) destacam-se na indústria alimentícia por suas propriedades tecnológicas, que viabilizam a substituição de ingredientes tradicionais sem comprometer a qualidade do produto final. Esses carboidratos apresentam maior solubilidade e capacidade de retenção de água que a sacarose (Macedo et al., 2020). Por serem compostos altamente higroscópicos, os FOS são frequentemente aplicados em formulações para aumentar a hidratação e diminuir a atividade de água, assegurando a estabilidade microbiológica dos alimentos (Franck, 2002; Macedo et al., 2020). Adicionalmente, eles não cristalizam, não precipitam e podem ser usados para alterar a temperatura de congelamento de alimentos, além de apresentarem baixo poder calórico (Yun, 1996; Santana et al., 2008; Macedo et al., 2020). Do ponto de vista sensorial, os FOS possuem um perfil adoçante semelhante ao da sacarose, mas com cerca de 35% da sua doçura, o que permite modular o sabor das formulações (Gonzalez-Tomas et al., 2008; Macedo et al., 2020).

A aplicação dos FOS reflete diretamente na percepção sensorial e na reologia dos alimentos. Diferentemente de outras fibras alimentares, os FOS não possuem sabores indesejáveis e não alteram a viscosidade dos produtos, possibilitando o desenvolvimento de alimentos ricos em fibras semelhantes aos originais (Macedo et al., 2020). Como possuem propriedades semelhantes às da sacarose, também podem ser usados para melhorar o *mouthfeel* (sensação bucal) dos produtos em que

são adicionados, mas sem formar cristais (Meyer et al., 2011; Tárrega et al., 2011; Macedo et al., 2020).

No setor de laticínios, a alta solubilidade da molécula o torna um ingrediente de fácil incorporação. Essa alta solubilidade ainda permite que ele seja utilizado em produtos lácteos, o que aumenta a ação das culturas probióticas adicionadas, exercendo efeito simbiótico (Franck, 2002; Niness, 1999; Macedo et al., 2020). O uso de FOS também melhora o perfil de textura e a aceitação sensorial em sobremesas, como verificado no desenvolvimento de formulações de mousses dietéticos simbióticos (Xavier-Santos et al., 2019; Macedo et al., 2020).

No segmento de panificação e massas, os FOS atuam como eficientes melhoradores da qualidade de processamento. Estudos que estudaram a adição de 3 a 9% de FOS à massa congelada de pães verificaram que houve uma melhoria na qualidade do cozimento da massa, mesmo após o armazenamento por até oito semanas a -18 °C (Park et al., 2016; Macedo et al., 2020). A adição de 6% de FOS foi a que mostrou melhor efeito sobre a qualidade da massa, resultando no aumento do volume e do teor de umidade dos pães e na redução da dureza (Park et al., 2016; Macedo et al., 2020). Em outros ensaios na área de cereais, observou-se que a adição de FOS na forma de pó diminuiu o índice glicêmico de biscoitos (Padma Ishwarya et al., 2013; Macedo et al., 2020) e garantiu altos índices de preferência (em torno de 79%) quando formulados em bolos de chocolate (Moscatto et al., 2004; Macedo et al., 2020).

Para a indústria de bebidas, os FOS representam uma excelente alternativa tecnológica, embora exijam cuidado quanto à sua concentração no desenvolvimento de novos produtos. Avaliando o efeito da adição em sucos mistos de maçã e laranja com FOS, os resultados mostraram que as bebidas possuíam aceitabilidade sensorial. No entanto, ao se aumentar a concentração de FOS, as notas para o odor aumentaram, as notas para o sabor diminuíram (Ghavidel et al., 2014; Macedo et al., 2020). Segundo o mesmo estudo, a combinação de açúcar e FOS poderia produzir bebidas adicionadas com um melhor sabor (Ghavidel et al., 2014; Macedo et al., 2020). Paralelamente, avanços no processamento revelam que a integração da conversão enzimática aliada à secagem por atomização (*spray-drying*) permite encapsular compostos bioativos, produzindo bebidas em pó funcionais com excelente solubilidade (93,8 %) (Chaichana et al., 2026).

Aplicação de FOS no Desenvolvimento de Novos Produtos

A versatilidade tecnológica e estrutural dos fruto-oligossacarídeos (FOS) tem impulsionado a sua aplicação no desenvolvimento de uma vasta gama de produtos alimentares de alto valor agregado. No setor de laticínios, os FOS são extensivamente utilizados na formulação de iogurtes, bebidas lácteas e sobremesas dietéticas. A sua adição atua na substituição parcial do açúcar comercial

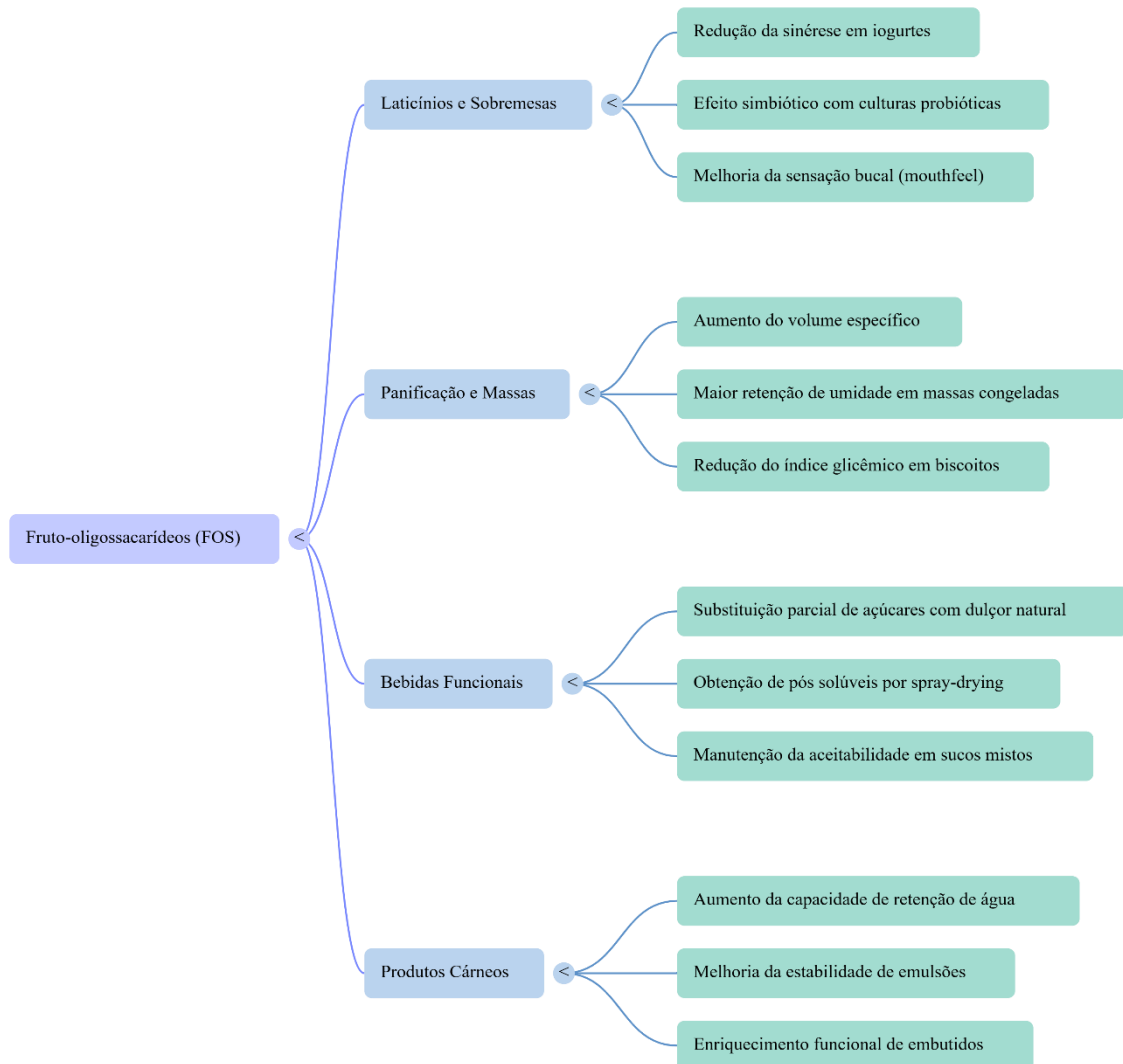
e melhora substancialmente os atributos reológicos das matrizes, como a redução da sinérese, além de promover um valioso efeito simbiótico ao atuar em sinergia com culturas probióticas previamente adicionadas (Macedo et al., 2020). A incorporação de oligômeros de frutose purificados também é uma prática consolidada em fórmulas infantis e leites funcionais, visando simular os efeitos bifidogênicos do leite materno e trazer benefícios diretos à microbiota (Bali et al., 2013).

Na indústria de panificação e processamento de massas, a aplicação de FOS demonstra resultados promissores na melhoria da qualidade tecnológica. A incorporação de concentrações entre 3% e 9% de FOS em massas congeladas é capaz de preservar a qualidade do cozimento mesmo após longos períodos de armazenamento a frio. Verificou-se que a adição otimizada de 6% promove o aumento do volume específico e da umidade dos pães, reduzindo simultaneamente a dureza da massa (Park et al., 2016; Macedo et al., 2020). Em produtos de confeitaria, este ingrediente atua na redução do índice glicêmico de biscoitos e mantém altas taxas de aceitação sensorial. Formulações de bolos de chocolate enriquecidas com FOS, por exemplo, atingiram índices de preferência próximos a 79%, comprovando a viabilidade de sua aplicação em produtos doces assados (Moscatto et al., 2004; Macedo et al., 2020).

O segmento de bebidas funcionais também tem explorado a molécula de FOS para a criação de alternativas com apelo de saudabilidade. O desenvolvimento de sucos mistos de frutas, a exemplo de formulações de maçã e laranja com adição de FOS, apresenta boa aceitabilidade mercadológica. No entanto, exige um equilíbrio rigoroso, pois concentrações muito elevadas do prebiótico podem intensificar o odor e reduzir as notas de sabor original da fruta, indicando que a combinação adequada entre os açúcares naturais e o FOS produz os melhores perfis sensoriais em bebidas (Ghavidel et al., 2014; Macedo et al., 2020). Inovações tecnológicas recentes incluem ainda a transformação de matrizes naturais e ricas em sacarose em pós funcionais, utilizando a conversão enzimática aliada à secagem por atomização (*spray-drying*), o que viabiliza a criação de bebidas instantâneas solúveis enriquecidas com FOS (Chaichana et al., 2026).

Por fim, uma outra área de aplicação é no processamento e na conservação de produtos cárneos. O emprego de compostos como os FOS na formulação de derivados cárneos atende à crescente demanda dos consumidores por produtos processados mais saudáveis. Além do enriquecimento nutricional com fibras solúveis, os oligossacarídeos atuam estrategicamente na matriz carne, melhorando as propriedades tecnológicas, auxiliando na retenção de água e na textura e contribuindo para a estabilidade do produto durante o armazenamento e conservação (Echegaray et al., 2022). A Figura 2 demonstra as aplicações do FOS em alimentos conforme o levantamento bibliográfico.

Figura 2 - Principais áreas de aplicação tecnológica dos fruto-oligossacarídeos (FOS) e os seus respectivos benefícios na engenharia de alimentos.



Fonte: Própria (2026)

A análise da Figura 2 ilustra a versatilidade e a ampla penetração dos fruto-oligossacarídeos (FOS) em diferentes matrizes da indústria de alimentos, categorizadas de acordo com as suas funções tecnológicas específicas. No setor de laticínios e sobremesas, a aplicação justifica-se pelas excelentes características de solubilidade do carboidrato e pela sua capacidade de melhorar o perfil reológico (reduzindo a sinérese) em formulações lácteas, ao mesmo tempo em que atua de forma simbiótica com as cepas probióticas tradicionais (Macedo et al., 2020).

Na indústria cárnea, a adição de FOS atua ativamente na melhoria de parâmetros cruciais como a retenção de água e a estabilidade das emulsões, o que prolonga a vida útil dos produtos (Echegaray et al., 2022).

Estabilidade dos FOS ao Processamento de Alimentos

A incorporação de ingredientes funcionais em matrizes alimentares exige a avaliação rigorosa de sua estabilidade físico-química frente às operações unitárias aplicadas pela indústria. Os fruto-oligossacarídeos (FOS) são caracterizados quimicamente como açúcares não redutores. Devido a essa natureza química, eles não são suscetíveis à reação de *Maillard* e à caramelização, o que preserva a coloração e previne o escurecimento não enzimático do produto final (Passos et al., 2003; Silva et al., 2007; Courtin et al., 2009; Macedo et al., 2020). De forma geral, esses compostos apresentam considerável estabilidade térmica, sendo estáveis a pH entre 3 e 7 e suportando temperaturas de até 140 °C. Consequentemente, a maioria dos processos térmicos aplicados em condições de neutralidade ou de baixa acidez não é capaz de degradar a estrutura dos FOS.

No entanto, o principal desafio tecnológico na aplicação dos FOS reside no processamento térmico associado a meios ácidos, condição na qual são conhecidos por hidrolisar quando submetidos a tratamentos térmicos, perdendo parcialmente suas propriedades funcionais (Alves Filho et al., 2016). O pH exerce grande influência em relação à degradação dos FOS. A degradação de oligossacarídeos é fomentada por catálise de prótons e, portanto, intensamente favorecida em meio ácido (Wang et al., 2009; Courtin et al., 2009; Macedo et al., 2020). Sob essas condições, as ligações frutose-frutose e frutose-glicose tornam-se frágeis, resultando em rápida hidrólise quando comparadas à degradação em meio básico (Macedo et al., 2020). Estudos demonstram que os FOS são altamente sensíveis ao calor em pH baixo; quando incubados a 100 °C por 60 minutos, ocorrem, respectivamente, 67% e 60% de hidrólise das ligações glicosídicas β -(2→1) em pH 2 e 3 (Courtin et al., 2009; Macedo et al., 2020).

O binômio tempo-temperatura aplicado nos métodos de conservação tradicionais determina a extensão dessa degradação. Na pasteurização (temperaturas entre 60 e 100 °C por 30 minutos), observa-se o início da decomposição dos FOS em pH 3,5, sendo completamente hidrolisados em pH 2 e 2,5 (Wang et al., 2009; Macedo et al., 2020). Enquanto na esterilização (121 °C por 10 a 50 minutos), o impacto é mais severo, havendo maior degradação de FOS e hidrólise completa em pH abaixo de 3,5 (Wang et al., 2009; Macedo et al., 2020). Extremos alcalinos também são críticos para o ingrediente, uma vez que a decomposição dos FOS ocorre em pH 11 e em temperaturas de 100 e 121 °C, cenário no qual os oligossacarídeos de cadeia curta apresentam maior sensibilidade quando comparados a oligossacarídeos de cadeia longa (Courtin et al., 2009; Macedo et al., 2020).

Além disso, a estabilidade da molécula não depende exclusivamente da temperatura e do pH. A literatura evidencia que o grau de polimerização, a matriz alimentar e o tipo de pasteurização são parâmetros importantes que devem ser avaliados no processamento de alimentos enriquecidos com FOS (Vega et al., 2015; Macedo et al., 2020). A influência protetora ou degradante da matriz torna-

se clara no estudo de Vega et al. (2015), no qual os FOS de cadeia curta foram submetidos às mesmas condições de processamento em três meios distintos: suco de laranja, suco de tomate e tampão de citrato de sódio. Nesse ensaio, a maior retenção dos FOS foi observada no suco de laranja, seguida do suco de tomate e, por último, do tampão de citrato, demonstrando que a composição da matriz, e não apenas o pH e a temperatura, modula a estabilidade da molécula (Veja et al., 2015).

A Tabela 2 apresenta a síntese das interações críticas entre as condições físico-químicas das matrizes alimentares e os tratamentos térmicos na estabilidade dos FOS. A análise sistemática destes parâmetros revela que o pH do meio atua como o principal fator modulador da integridade estrutural destes oligossacarídeos durante o processamento industrial.

Tabela 2 - Estabilidade dos fruto-oligossacarídeos (FOS) diante de diferentes condições físico-químicas e térmicas.

FATOR DE PROCESSAMENTO	CONDIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	IMPACTO NA ESTRUTURA DOS FOS	REFERÊNCIAS
AQUECIMENTO NEUTRO	pH 3 a 7; Temperatura até 140 °C	Alta estabilidade; preservação da molécula.	Passos; Park (2003); Silva et al. (2007); Courtin et al. (2009); Macedo et al. (2020).
PASTEURIZAÇÃO ÁCIDA	pH 3,5; temperatura de 60 °C a 100 °C	Início do processo de decomposição.	Wang et al. (2009) Macedo et al. (2020).
ESTERILIZAÇÃO ÁCIDA	pH 2,0 a 2,5; temperatura de 121 °C	Hidrólise total e degradação da molécula.	Wang et al. (2009); Macedo et al. (2020).
ESCURECIMENTO NÃO ENZIMÁTICO	Exposição ao calor (geral)	Sem suscetibilidade à reação de <i>Maillard</i> e à caramelização.	Passos; Park (2003); Silva et al. (2007); Courtin et al. (2009); Macedo et al. (2020).

Fonte: Própria (2026).

Conforme demonstrado pelos dados, em meios com pH neutro a moderadamente ácido (na faixa de 3 a 7), os FOS exibem uma notável resistência térmica, sendo capazes de suportar temperaturas de até 140 °C sem sofrer despolimerização (Passos et al., 2003; Silva et al., 2007; Courtin et al., 2009; Macedo et al., 2020). Em conjunto com esta elevada estabilidade, sobressai o comportamento inerte dos FOS perante o escurecimento não enzimático. Por se tratarem de açúcares não redutores, não participam nas reações de *Maillard* nem nos processos de caramelização quando expostos a fontes de calor, constituindo uma vantagem tecnológica inestimável, uma vez que a sua adição não altera o padrão de cor do produto alimentar final (Passos et al., 2003; Silva et al., 2007; Courtin et al., 2009; Macedo et al., 2020).

No entanto, o cenário se inverte perante formulações ácidas, evidenciando o principal desafio na engenharia de alimentos contendo este ingrediente. A tabela ilustra que a queda acentuada do pH promove uma catálise ácida que torna as ligações β -(2→1) vulneráveis à clivagem induzida pela

energia térmica. Durante processos de pasteurização convencional (operando entre 60 °C e 100 °C), um pH de 3,5 já se mostra suficiente para desencadear o início da decomposição da molécula (Wang et al., 2009; Macedo et al., 2020). Esta degradação atinge a sua severidade máxima em binômios tempo-temperatura mais agressivos. Nos tratamentos de esterilização a 121 °C conjugados com um pH entre 2,0 e 2,5, ocorre a hidrólise total do polímero, convertendo-o nos seus monómeros constituintes e extinguindo qualquer propriedade prebiótica e funcional (Wang et al., 2009; Macedo et al., 2020).

A interpretação destes parâmetros sugere que a incorporação de FOS em matrizes lácteas neutras ou na indústria de panificação apresenta baixos riscos de degradação. Todavia, a formulação de sucos de frutas ou bebidas altamente ácidas exige precaução. Nestes casos, a indústria é desafiada a otimizar as condições de tempo e temperatura, ou a recorrer a estratégias de proteção (como a microencapsulação e tecnologias emergentes não térmicas), para assegurar a estabilidade da molécula e a entrega do benefício funcional esperado pelo produto.

Tecnologias Emergentes (Não-Térmicas) na Estabilidade de FOS

A suscetibilidade dos FOS à hidrólise durante o processamento térmico impulsiona a avaliação contínua de tecnologias emergentes e menos agressivas na engenharia de alimentos (Alves Filho et al., 2016). Sabe-se que os FOS hidrolisam mesmo em temperaturas brandas quando submetidos a um pH baixo, sendo essas condições facilmente atingidas durante o processamento industrial e o armazenamento a longo prazo (Charalampopoulos et al., 2012; Alves Filho et al., 2016). Esse cenário exige a investigação de processamentos não convencionais, a exemplo da aplicação de plasma, alta pressão hidrostática (APH) e processamento por ultrassom, visando contornar a perda parcial de suas propriedades funcionais durante a fabricação (Alves Filho et al., 2016).

Estudos cinéticos detalhados sobre a decomposição desses carboidratos revelam a elevada fragilidade da molécula frente ao fornecimento de energia térmica. A hidrólise dos FOS e da sacarose segue uma taxa cinética de primeira ordem; contudo, os FOS apresentam uma energia de ativação significativamente menor do que a da sacarose (L'Homme et al., 2003; Alves Filho et al., 2016). Isso indica, do ponto de vista termodinâmico, que é necessária consideravelmente menos energia para hidrolisar os FOS (Alves Filho et al., 2016). Portanto, a aplicação de processamentos como o ultrassom e a alta pressão, que dispensam as altas cargas térmicas, pode ser uma via para manter intactas a estrutura e a atividade prebiótica do ingrediente (Alves Filho et al., 2016).

Além das tecnologias de processamento físico, métodos combinados de síntese sob condições brandas e tecnologias de secagem oferecem rotas robustas de estabilização estrutural. A síntese enzimática de FOS (transfrutossilacção da sacarose), por exemplo, oferece uma rota

ambientalmente correta, que se contrapõe aos altos aportes energéticos exigidos pelos métodos convencionais (Chaichana et al., 2026). Quando essa abordagem branda é acoplada à tecnologia de secagem por atomização (*spray-drying*), obtém-se uma plataforma escalável de estabilização (Chaichana et al., 2026). O processo de *spray-drying* proporciona uma via sustentável e eficiente para encapsular os FOS, transformando matrizes líquidas suscetíveis em ingredientes em pó com funcionalidade prebiótica altamente estável (Chaichana et al., 2026).

A Tabela 3 sintetiza o principal obstáculo tecnológico na incorporação do FOS em matrizes alimentares e as soluções emergentes propostas pela engenharia de alimentos para contornar essa limitação.

Tabela 3 - Estabilidade dos fruto-oligossacarídeos (FOS) frente a diferentes tecnologias e condições de processamento na indústria de alimentos.

CONDIÇÃO DE PROCESSAMENTO	PARÂMETROS E FATORES CRÍTICOS	IMPACTO NA ESTRUTURA E ESTABILIDADE DOS FOS	REFERÊNCIA
PROCESSAMENTO TÉRMICO CONVENCIONAL (PASTEURIZAÇÃO E ESTERILIZAÇÃO)	Altas temperaturas associadas a pH extremo; ou temperaturas brandas em meio de baixo pH.	Condições desencadeiam a hidrólise química (despolimerização) da molécula, resultando na perda parcial de suas propriedades funcionais e prebióticas.	Macedo et al. (2020); Alves Filho et al. (2016).
PROCESSAMENTOS NÃO-TÉRMICOS (PLASMA FRIO ATMOSFÉRICO, ALTA PRESSÃO E ULTRASSOM)	Alta pressão hidrostática (ex.: 450 MPa por 5 min), ultrassom (600–1200 W/L) e exposição a plasma frio.	Elevada estabilidade. Estes processos não induzem alterações significativas na concentração de FOS (<2,0%) nem reduzem seu grau de polimerização (<3,3%), evitando a hidrólise.	Alves Filho et al. (2016).
SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (<i>SPRAY-DRYING</i>) COM MICROENCAPSULAÇÃO	Temperaturas de entrada de ar elevadas (140 °C a 160 °C) combinadas com agentes de parede (ex.: goma arábica e maltodextrina).	Alta preservação. O encapsulamento protege o FOS do dano térmico direto, gerando microcápsulas esféricas estáveis e restando a funcionalidade em pós solúveis.	Chaichana et al. (2026).

Fonte: Própria (2026).

Conforme evidenciado, o processamento térmico convencional atua como um agente degradante das moléculas de FOS, especialmente quando o meio apresenta elevada acidez. Macedo, Vimercati e Araújo (2020) e Alves Filho *et al.* (2016) elucidam que o abaixamento do pH catalisa a hidrólise química das ligações glicosídicas durante o aquecimento, resultando na rápida despolimerização do carboidrato e na consequente perda parcial ou total da sua funcionalidade prebiótica. Esta vulnerabilidade impõe restrições severas ao desenvolvimento de bebidas ácidas

pasteurizadas, exigindo uma readequação dos parâmetros de tempo e temperatura por parte da indústria.

Em contrapartida, as tecnologias não térmicas destacam-se como alternativas de elevada eficácia para a preservação integral da estrutura dos FOS. A Tabela 3 demonstra que a aplicação de processos baseados em alta pressão hidrostática (APH), cavitação acústica (ultrassom de alta potência) e plasma frio opera sob mecanismos mecânicos ou elétricos que não fornecem a energia térmica de ativação necessária para clivar as ligações covalentes da molécula (Alves Filho *et al.*, 2016). Como resultado, essas tecnologias emergentes mantêm as concentrações de FOS e o seu grau de polimerização praticamente intactos (com variações irrisórias inferiores a 3,3%), garantindo a entrega do benefício funcional ao consumidor final sem comprometer a inativação microbiana e a segurança do alimento (Alves Filho *et al.*, 2016).

O processo de microencapsulação via *spray-drying* consiste na atomização de uma emulsão ou solução contendo o FOS (material de núcleo) e um agente carreador (material de parede) em uma câmara de ar quente. Embora as temperaturas de entrada do ar de secagem sejam tipicamente elevadas, operando frequentemente na faixa de 140 °C a 160 °C, a rápida evaporação do solvente promove um resfriamento evaporativo na superfície da gotícula (Chaichana et al., 2026). Este fenômeno termodinâmico impede que a temperatura interna da microcápsula atinja níveis críticos que desencadeariam a hidrólise química das ligações glicosídicas dos FOS, assegurando a integridade e a funcionalidade prebiótica do carboidrato (Chaichana et al., 2026).

Adicionalmente, os FOS têm demonstrado um duplo comportamento tecnológico em sistemas de microencapsulação complexos, atuando não apenas como o composto bioativo a ser protegido, mas também como um agente estabilizante da própria matriz encapsulante. Em estudo recente envolvendo emulsões duplas do tipo água-óleo-água (A/O/A), formuladas com óleo de girassol como fase oleosa, para a proteção de antocianinas de cenoura preta, a co-encapsulação de FOS com proteínas vegetais (mistura de proteína de ervilha e arroz) revelou-se altamente sinérgica (Kurek et al., 2025). A formulação ótima, que combinou a mistura de proteínas de ervilha e arroz com 1% de FOS, destacou-se em relação aos aspectos de estabilidade do pigmento e desempenho de encapsulação: proporcionou a maior retenção de cor, aumentou a solubilidade das microcápsulas em fluidos gástricos e intestinais simulados (76,2% e 80,8%, respectivamente) e estendeu de forma expressiva a meia-vida das antocianinas (cerca de 365 dias). A análise estrutural indicou que os FOS modificaram a estrutura secundária das proteínas, favorecendo a formação de uma matriz mais densa e a obtenção de microcápsulas menores e mais uniformes, o que assegurou a retenção eficaz do bioativo durante os processos de secagem e digestão *in vitro* (Kurek et al., 2025).

Desafios e perspectivas

Apesar do potencial tecnológico e funcional dos fruto-oligossacarídeos (FOS), a sua incorporação na indústria de alimentos ainda esbarra em alguns desafios. Um primeiro ponto refere-se ao comportamento dos FOS em alimentos ultraprocessados. Embora o enriquecimento com fibras prebióticas seja frequentemente empregado como estratégia de reformulação e de apelo de saudabilidade, a simples adição de um ingrediente funcional não altera, por si só, a classificação do produto. Conforme o sistema NOVA, desenvolvido no Brasil, um alimento permanece ultraprocessado mesmo após reformulação nutricional, de modo que a fortificação com FOS não o converte em um produto menos processado (Monteiro et al., 2019). Esse cenário sugere a necessidade de estudos que avaliem não apenas a viabilidade tecnológica da incorporação, mas também o real impacto fisiológico dos FOS quando inseridos em matrizes complexas e densas em energia.

Outro desafio relevante diz respeito à estabilidade dos FOS durante o armazenamento prolongado. Como discutido, a hidrólise das ligações glicosídicas pode ocorrer mesmo em temperaturas brandas sob pH baixo, condições facilmente atingidas ao longo da vida útil dos produtos. Nesse contexto, as estratégias de proteção como a microencapsulação com matrizes proteicas, por exemplo, foram capazes de estender de forma expressiva a estabilidade de compostos bioativos, prolongando a sua meia-vida para cerca de 365 dias (Kurek et al., 2025). Ainda assim, a literatura carece de estudos sistemáticos de longa duração que monitorem a integridade estrutural e a funcionalidade prebiótica dos FOS ao longo de todo o período de comercialização, sobretudo em matrizes ácidas.

A interação dos FOS com proteínas vegetais desponta como uma perspectiva promissora, em sintonia com a crescente demanda por alimentos de base vegetal. Os FOS podem atuar também como modificadores da matriz proteica. Em um estudo com sistemas de emulsão dupla estabilizados por proteína de ervilha e arroz, a presença de FOS alterou a estrutura secundária das proteínas, favorecendo a formação de estruturas do tipo folha- β e volta- β e resultando em uma matriz encapsulante mais densa e em microcápsulas menores e mais uniformes (Kurek et al., 2025). A compreensão aprofundada desses mecanismos de interação FOS-proteína, ainda pouco explorada, constitui uma oportunidade para o desenvolvimento de novos produtos *plant-based*.

Do ponto de vista produtivo, a escalabilidade industrial figura entre as principais limitações, tanto na obtenção dos FOS quanto nas tecnologias de proteção. Embora a síntese enzimática e a microencapsulação por secagem por atomização estejam bem estabelecidas em escala laboratorial, a transposição para a escala industrial ainda apresenta desafios, principalmente devido ao incrustamento de películas por colorantes, proteínas e compostos fenólicos, além de perdas de rendimento e de elevada demanda energética e hídrica (Gruska et al., 2025).

Apesar da comprovada eficácia da alta pressão hidrostática, do plasma frio e do ultrassom na preservação da estrutura dos FOS, o elevado investimento de capital em equipamentos, somado aos custos operacionais e de manutenção, é apontado como a principal barreira à sua implementação, sobretudo para pequenas e médias empresas (Gentès et al., 2025). Assim, as perspectivas futuras apontam para a integração entre rotas biotecnológicas de síntese, tecnologias de encapsulamento e processamentos brandos, de modo a equilibrar a preservação da funcionalidade dos FOS e a viabilidade econômica ao longo da cadeia produtiva.

CONCLUSÕES

A presente revisão demonstrou que os frutooligossacarídeos (FOS), além da sua atuação como agente prebiótico, consolidam-se também como ingredientes tecnológicos multifuncionais de grande valor para a engenharia de alimentos. A sua capacidade de reproduzir as propriedades sensoriais e estruturais da sacarose, aliada ao baixo valor calórico e à melhoria substancial do perfil reológico das matrizes, viabiliza o desenvolvimento de uma vasta gama de produtos inovadores, que vão desde laticínios até produtos de panificação e bebidas.

Por outro lado, a viabilidade da sua aplicação industrial depende de superar a sua instabilidade perante o binômio tempo-temperatura do processamento térmico convencional, especialmente em matrizes de elevada acidez, cenário que desencadeia a rápida hidrólise e despolimerização da molécula. Para ultrapassar esta limitação, a literatura aponta para o uso das tecnologias emergentes. Processamentos não térmicos como a alta pressão hidrostática, o plasma frio atmosférico e o ultrassom provaram ser capazes de garantir a segurança microbiológica sem fornecer a energia térmica necessária para clivar as ligações glicosídicas dos FOS, mantendo a sua integridade estrutural praticamente intacta.

Em paralelo, a adoção de estratégias avançadas de formulação, como a microencapsulação através de secagem por atomização (*spray-drying*), consolida-se como uma rota altamente promissora para proteger o bioativo do dano térmico direto, originando pós funcionais e altamente estáveis. Entretanto, o futuro do desenvolvimento de alimentos enriquecidos com FOS reside na otimização destas tecnologias de proteção e processamento brando, de modo a preservar a funcionalidade da molécula nas diferentes matrizes em que vem sendo aplicada, como laticínios, panificados, bebidas e produtos cárneos. A integração de métodos biotecnológicos de síntese com tecnologias de encapsulamento e processamento não térmico não apenas garante a entrega efetiva da funcionalidade fisiológica ao consumidor final, mas também sustenta o aproveitamento racional de matérias-primas ricas em sacarose, fortalecendo a posição dos FOS como ingredientes estratégicos para a inovação na indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

- Alves Filho, E. G.; Cullen, P. J.; Frias, J. M.; Bourke, P.; Tiwari, B. K.; Brito, E. S.; Rodrigues, S.; Fernandes, F. A. N. Evaluation of plasma, high-pressure and ultrasound processing on the stability of fructooligosaccharides. *International Journal of Food Science & Technology*, [S. l.], v. 51, n. 9, p. 2034-2040, 2016.
- Bali, V.; Panesar, P. S.; Bera, M. B.; Kennedy, J. F. Fructo-oligosaccharides: production, purification and potential applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, [S. l.], v. 55, n. 11, p. 1475-1490, 2013.
- Chaichana, N.; Jafari, S.; Chheng, S.; Shiekh, K. A.; Kijpatanasilp, I.; Assatarakul, K. Enzyme-assisted fructooligosaccharide enrichment and spray-drying encapsulation of functional durian powder. *Food Chemistry Advances*, [S. l.], v. 10, p. 101216, 2026.
- Charalampopoulos, D.; Rastall, R. A. *Prebiotics and probiotics science and technology*. Springer Science & Business Media, Nova York, 2012.
- Courtin, C. M.; Swennen, K.; Verjans, P.; Delcour, J. A. Heat and pH stability of prebiotic arabinoxylooligosaccharides, xylooligosaccharides and fructooligosaccharides. *Food Chemistry*, [S. l.], v. 112, n. 4, p. 831-837, 2009.
- Echegaray, N.; Yegin, S.; Kumar, M.; Hassoun, A.; Campagnol, P. C. B.; Lorenzo, J. M. Application of oligosaccharides in meat processing and preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, [S. l.], p. 1-17, 2022.
- Franck, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*, [S. l.], v. 87, n. S2, p. S287-S291, 2002.
- Gentès, M.-C.; Ramachandran, R. P.; Mupondwa, E.; Ross, K. A.; Koutchma, T.; Shi, J. Industrial adoption of emerging food processing technologies: insights from the Canadian agri-food sector. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, [S. l.], 2025.
- Ghavidel, R. A.; Davoodi, M. G.; Farahnaky, A.; Javanmard, M. Effect of fructooligosaccharide on sensory and physical properties of mixed fruit juice. *Journal of Food Science and Technology*, [S. l.], v. 51, n. 10, p. 2636-2642, 2014.
- Gruska, R. M.; Kunicka-Styczyńska, A.; Baryga, A. Fructooligosaccharides (FOS): the hidden treasure of sugar industry. In: *Monographs of Biologically Active Substances*. Lodz: Lodz University of Technology Press, 2025. DOI: 10.34658/9788367934862.2.
- González-Tomás, L.; Coll-Marqués, J.; Costell, E. Yield stress and sensory properties of inulin-enriched dairy desserts. *Journal of Food Engineering*, [S. l.], v. 88, n. 4, p. 484-490, 2008.
- Kurek, M. A.; Pokorski, P.; Aktaş, H.; Custodio-Mendoza, J. A. Tailoring anthocyanin stability with pea-rice proteins and fructooligosaccharides: A microencapsulation study using double emulsion. *Food and Bioproducts Processing*, [S. l.], v. 154, p. 99-107, 2025.
- L'Homme, C.; Arbelot, M.; Puigserver, A.; Biagini, A. Kinetics of hydrolysis of fructooligosaccharides in mineral-buffered aqueous solutions: influence of pH and temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [S. l.], v. 51, n. 1, p. 225-230, 2003.
- Macedo, L. L.; Vimercati, W. C.; Araújo, C. S. Fruto-oligosaccharídeos: aspectos nutricionais, tecnológicos e sensoriais. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 23, e2019080, 2020.
- Meyer, D.; Bayarri, S.; Tárrega, A.; Costell, E. Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids*, [S. l.], v. 25, n. 8, p. 1881-1890, 2011.

- Moscatto, J. A.; Prudêncio-Ferreira, S. H.; Hauly, M. C. O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 24, n. 4, p. 634-640, 2004.
- Monteiro, C. A.; Cannon, G.; Levy, R. B.; Moubarac, J.-C.; Louzada, M. L. C.; Rauber, F.; Khandpur, N.; Cediel, G.; Neri, D.; Martinez-Steele, E.; Baraldi, L. G.; Jaime, P. C. Ultra-processed foods: what they are and how to identify them. *Public Health Nutrition*, [S. l.], v. 22, n. 5, p. 936-941, 2019.
- Niness, K. R. Inulin and oligofructose: what are they?. *The Journal of Nutrition*, [S. l.], v. 129, n. 7, p. 1402S-1406S, 1999.
- Padma Ishwarya, S.; Prabhasankar, P. Fructooligosaccharides: properties, nutritional benefits, technological properties and applications. *Food Reviews International*, [S. l.], v. 30, n. 3, p. 233-261, 2014.
- Park, S. S.; Lee, J. Y.; Kang, S. Y.; Kim, Y. M. Effect of fructooligosaccharides on the quality of frozen dough. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, [S. l.], v. 45, n. 5, p. 741-748, 2016.
- Passos, L. M. L.; Park, Y. K. Frutooligosacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 385-390, 2003.
- Rahim, M. A.; Saeed, F.; Khalid, W.; Hussain, M.; Anjum, F. M. Functional and nutraceutical properties of fructo-oligosaccharides derivatives: a review. *International Journal of Food Properties*, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 1588-1602, 2021.
- Rawat, H. K.; Nath, S.; Sharma, I.; Kango, N. Recent developments in the production of prebiotic fructooligosaccharides using fungal fructosyltransferases. *Mycology*, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 564-584, 2024.
- Santana, I.; Cardoso, M. H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 898-905, 2008.
- Silva, R. F.; Pastore, G. M.; Franco, T. T.; Fontes, P. R. Frutooligosacarídeos: aspectos nutricionais e tecnológicos. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n. 2, p. 257-268, 2007.
- Tárrega, A.; Rocafull, A.; Costell, E. Effect of blends of short and long-chain inulin on the rheological and sensory properties of prebiotic low-fat milk beverages. *International Dairy Journal*, [S. l.], v. 21, n. 9, p. 604-610, 2011.
- Vega, R.; Zúñiga-Hansen, M. E. The effect of processing conditions on the stability of fructooligosaccharides in acidic food products. *Food Chemistry*, [S. l.], v. 173, p. 784-789, 2015.
- Wang, J.; Sun, B.; Cao, Y.; Tian, Y.; Wang, C. Enzymatic preparation of wheat bran xylooligosaccharides and their stability during pasteurization and autoclave sterilization at low pH. *Carbohydrate Polymers*, [S. l.], v. 77, n. 4, p. 816-821, 2009.
- Xavier-Santos, D.; Bedani, R.; Perego, P.; Converti, A.; Saad, S. M. I. L. *Lactobacillus acidophilus* La-5, fructooligosaccharides and inulin may improve sensory acceptance and texture profile of a synbiotic diet mousse. *LWT - Food Science and Technology*, [S. l.], v. 105, p. 329-335, 2019.
- Yun, J. W. Fructooligosaccharides: occurrence, preparation, and application. *Enzyme and Microbial Technology*, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 107-117, 1996