

**Compostos bioativos de interesse para a indústria de alimentos: propriedades,
aplicações e perspectivas para o mercado consumidor**

**Bioactive compounds of interest to the food industry: properties, applications and
perspectives for the consumer market**

**Compuestos bioactivos de interés para la industria alimentaria: propiedades,
aplicaciones y perspectivas para el mercado de consumo**

Recebido: 02/09/2020 | Revisado: 07/09/2020 | Aceito: 28/09/2020 | Publicado: 29/09/2020

Andreia Aparecida dos Anjos Chagas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8835-828X>

Universidade Federal de São João del Rei, Brasil

E-mail: andreiachagas.ufsj1@gmail.com

Regiane Ribeiro-Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2424-9447>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Brasil

E-mail: ribeirorsantos@gmail.com

Kamila de Oliveira do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8360-4827>

Centro Universitário de Volta Redonda, Brasil

E-mail: kamila.nascimento@yahoo.com.br

Renata Ferreira Santana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6621-6662>

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil

E-mail: rena_nutri@yahoo.com.br

Denise Rosane Perdomo Azeredo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0781-5053>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: denise.azeredo@ifrj.edu.br

Lanamar de Almeida Carlos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8356-2583>

Universidade Federal de São João del Rei, Brasil

E-mail: lanamar@ufsj.edu.br

Felipe Machado Trombete

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8590-4142>

Universidade Federal de São João del Rei, Brasil

E-mail: trombete@ufsj.edu.br

Resumo

Alimentos funcionais são uma tendência de mercado devido a possibilidade de fabricação de produtos processados mais saudáveis, com benefícios à saúde e sensorialmente agradáveis, agregando assim valor aos produtos. Essa pesquisa teve como objetivo revisar as propriedades funcionais dos compostos bioativos β -glucanas, inulina, psyllium, quitosana e licopeno, demonstrando as possibilidades de utilização pela indústria de alimentos no desenvolvimento de novos produtos, apresentando suas composições, aplicações tecnológicas e características funcionais. Tais compostos bioativos possuem grandes possibilidades de uso em produtos da panificação, produtos lácteos, cárneos e bebidas. Do ponto de vista tecnológico, a indústria de alimentos brasileira pode explorar suas aplicações na reformulação de produtos mais saudáveis, com diferentes texturas e apelos de mercados.

Palavras-chave: Alimentos funcionais; Ingredientes funcionais; Prebióticos; Desenvolvimento de novos produtos; Fibras alimentares.

Abstract

Functional foods are a market trend due to the possibility of manufacturing more beneficial processed products, with health benefits and sensorially pleasant, adding value to the products. This research aimed to review the properties of the bioactive compounds β -glucans, inulin, psyllium, chitosan, and lycopene, demonstrating the possibilities of their use by the food industry in the development of new products. Their composition, technological applications, and functional characteristics were presented. These bioactive compounds have high possibilities of use in bakery products, dairy products, meat products, and beverages. From the technological point of view, the Brazilian food industry can explore its applications in the reformulation of healthier products, with different textures and market appeals.

Keywords: Functional foods; Functional ingredients; Prebiotics; New product development; Food fibers.

Resumen

Los alimentos funcionales son una tendencia del mercado debido a la posibilidad de fabricar

productos procesados más beneficiosos, con beneficios para la salud y sensorialmente agradables, agregando valor a los productos. Esta investigación tuvo como objetivo revisar las propiedades de los compuestos bioactivos β -glucanos, inulina, psyllium, quitosano y licopeno, demostrando las posibilidades de su uso por la industria alimentaria en el desarrollo de nuevos productos. Se presentaron su composición, aplicaciones tecnológicas y características funcionales. Estos compuestos bioactivos tienen altas posibilidades de uso en productos de panadería, productos lácteos, productos cárnicos y bebidas. Desde el punto de vista tecnológico, la industria alimentaria brasileña puede explorar sus aplicaciones en la reformulación de productos más saludables, con diferentes texturas y atractivos del mercado.

Palabras clave: Alimentos funcionales; Ingredientes funcionales; Prebióticos; Desarrollo de nuevos productos; Fibras alimentarias.

1. Introdução

A demanda por produtos funcionais tem aumentado recentemente, seguindo um padrão no qual os consumidores valorizam os alimentos que são associados a melhoria da saúde. Alimentos funcionais são uma tendência de mercado devido a possibilidade de fabricação de produtos processados mais saudáveis, com benefícios à saúde e sensorialmente agradáveis (Guimarães et al., 2020a).

As substâncias bioativas utilizadas no desenvolvimento dos alimentos funcionais possuem diferentes benefícios, tais como a prevenção de doenças cardiovasculares, câncer, diabetes e doença de Alzheimer. Além dos benefícios a saúde e contribuição para o bem estar, tais alimentos apresentam um negócio lucrativo, uma vez que, é possível agregar valor ao produto e ao mesmo tempo atender às demandas contemporâneas dos consumidores (Arroyo et al., 2018).

Conforme revisado por Silva & Orlandelli (2019), diversas pesquisas realizadas no Brasil objetivaram o desenvolvimento de novos produtos alimentícios a partir da incorporação de diferentes ingredientes funcionais, tais como fibras, flavonoides, prebióticos e probióticos, agregando valor nutricional e bioativo aos produtos e mantendo os padrões de qualidade exigidos pela legislação brasileira.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), do Ministério da Saúde, regulamenta as alegações de propriedades funcionais aprovadas para alimentos, com padronização das informações e propriedades veiculadas nos rótulos. Não é aprovada alegação para o ingrediente do alimento, mas sim, para o produto final que tenha tal ingrediente na

formulação, devendo-se adequar-se às exigências da Resolução nº 18 /1999 (BRASIL, 1999) que trata das diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais em rotulagem de alimentos.

Dentre as principais exigências está a comprovação da eficácia da alegação para o produto em estudo e considerando a formulação e características do mesmo, ou seja, para fazer uso de alguma alegação dentre as aprovadas na lista da Anvisa a empresa precisará solicitar aprovação no órgão. Deve ser considerado também a conformidade da concentração do ingrediente funcional na porção do alimento, conforme determinado na Resolução RDC nº 359/2003 (Brasil, 2003).

É de grande importância ressaltar também que as alegações de propriedades funcionais ou de saúde somente podem ser realizadas em alimentos registrados para este fim e que não é permitido o uso de alegações terapêuticas, de saúde ou funcionais que não tenham sido autorizadas pela Anvisa, como por exemplo, alegar que um determinado alimento previne câncer ou Alzheimer, auxilia no emagrecimento, possui ação diurética, diminui dor muscular ou óssea, dentre outros (ANVISA, 2017).

Essa pesquisa teve como objetivo revisar as propriedades funcionais dos compostos bioativos β -glucanas, inulina, psyllium, quitosana e licopeno, demonstrando as possibilidades de utilização dos mesmos pela indústria de alimentos no desenvolvimento de novos produtos, apresentando sua composição, aplicações tecnológicas e características funcionais.

2. Metodologia

Para a construção desse artigo foi utilizada metodologia de revisão qualitativa do tipo narrativa (Demiris, Oliver & Washington, 2019), buscando reunir informações sobre os compostos bioativos referentes a composição, propriedades e aplicações em alimentos, através de estudos científicos publicados nos últimos 10 anos em periódicos revisados por pares. Foram utilizadas para a busca dos artigos as bases Scopus (Elsevier), Google Acadêmico e Portal de Periódicos CAPES.

3. Desenvolvimento

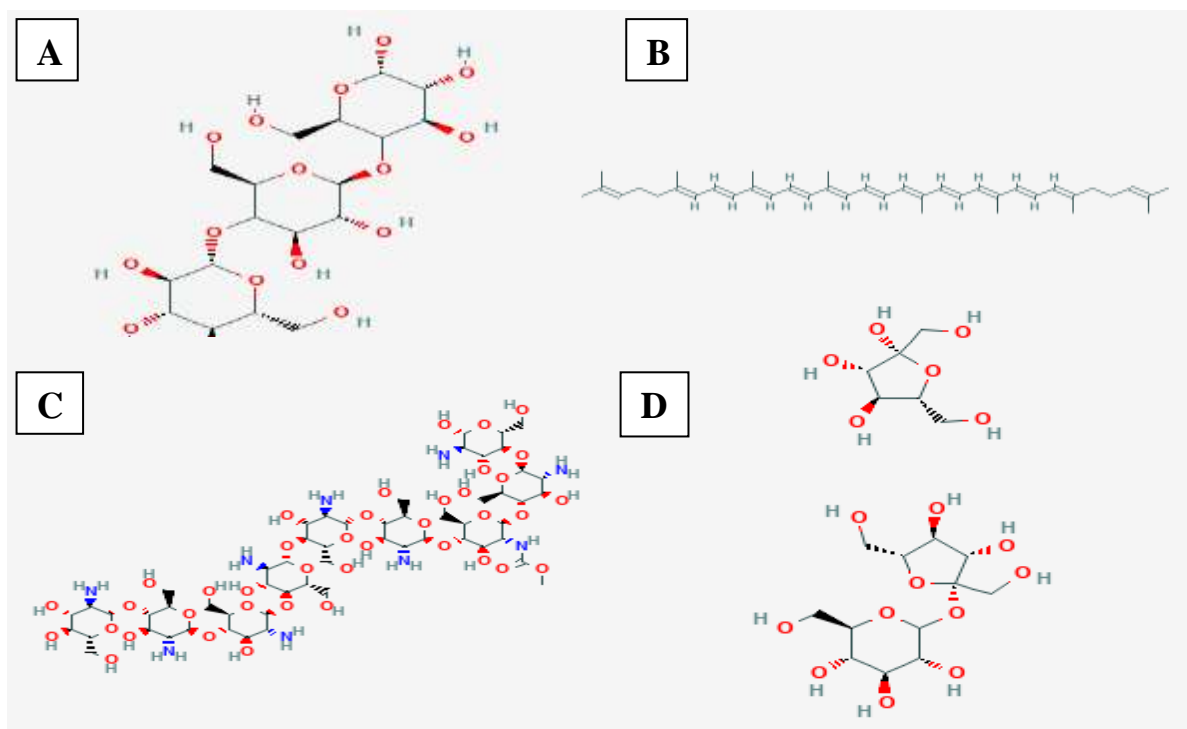
β -glucanas

Nos últimos anos a comunidade científica tem intensificado os estudos sobre aplicações industriais de β -glucanas em produtos alimentícios, o que deve-se principalmente a combinação

dos efeitos bioativos e tecnológicos dessas moléculas. As β -glucanas possuem reconhecido efeito anti-inflamatório, anticâncer, e imunomodulatórios com diversos benefícios à saúde, incluindo propriedades prebióticas (Suchecka et al., 2017). Em conjunto com os efeitos tecnológicos, como por exemplo a alta capacidade de absorção de água com consequente aumento de viscosidade e formação de gel, seu emprego em produtos industrializados se torna facilitado, tais como em panificados, produtos cárneos e bebidas (Zhu et al., 2016).

Os carboidratos denominados de β -D-glucanas são polissacarídeos de diferentes pesos moleculares, classificados como fibras alimentares e formados por monômeros de D-glicose ligados entre si por ligações β -glicosídicas do tipo $\beta(1 \rightarrow 3)$, $\beta(1 \rightarrow 4)$ e/ou $\beta(1 \rightarrow 6)$, conforme demonstrado na Figura 1A, com grande capacidade de formação de gel (Sofi et al., 2017; Delcour & Hosney, 2010), podendo ser encontrados em cereais e em outras fontes naturais, como por exemplo cogumelos e micro-organismos.

Figura 1. Estruturas químicas de moléculas bioativas: A) β -D-Glucana (estrutura básica, podendo apresentar muitas variações) PubChem CID 439262; B) licopeno (CID 446925); C) Quitosana (CID 71853); D) Inulina de chicória (CID 16219508).



Fonte: Adaptado de PubChem (2020).

As principais fontes vegetais de β -glucanas são a cevada e a aveia, presentes principalmente no farelo desses grãos (camada aleurona e sub-aleurona), sendo encontradas em valores de 3-7% na aveia e de 5 - 11% na cevada (Sofi et al., 2017). Classificada como

carboidrato não amiláceo, seus efeitos na redução de peso corporal e prevenção de obesidade são reconhecidos cientificamente, tendo como princípio de ação a absorção de água e consequente formação de um gel que não é digerido no intestino delgado, alterando de forma positiva o metabolismo de lipídios e glicose, além disso, esse gel é fermentado no intestino grosso atuado como prebiótico (Suchecka et al., 2017).

A ANVISA (2019) autoriza alegação funcional da β -glucana apenas para aveia, devendo constar a seguinte informação: “A beta glucana (fibra alimentar) auxilia na redução da absorção de colesterol. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”. Tal alegação pode ser utilizada desde que a porção do produto pronto para consumo forneça no mínimo 3 g de β -glucana, se o alimento for sólido, ou 1,5 g se o alimento for líquido. A quantidade da β -glucana deverá estar informada na tabela nutricional, logo abaixo do teor de fibra alimentar.

Para uso como ingrediente na formulação de produtos alimentícios, as β -glucanas podem ser utilizadas na forma isolada, a partir de alguma matéria-prima fonte, ou então incluída através de ingredientes naturalmente considerados fonte. Para o isolamento, diferentes técnicas de extração podem ser realizadas, dependendo da matéria-prima a ser extraída. Zhu et al. (2016) descrevem que os métodos mais comuns são o uso de extração com água aquecida, extração alcalina, extração com auxílio de ultrassom ou enzimática e, tais técnicas possuem grande variação em custo e também quanto a pureza final da β -glucana isolada.

Por outro lado, pode-se elaborar produtos com alto teor de β -glucana sem a necessidade de extração e isolamento. Panjagari et al. (2015) produziram um biscoito rico em β -glucana através da mistura de farinhas de cevada e trigo. O biscoito desenvolvido apresentou 1,93 g/100 g de fibra alimentar, dos quais a β -glucana correspondeu a 1,48 g/100 g.

Percebe-se que a farinha integral de cevada tem ganhado destaque na formulação de produtos da panificação com elevados teores de β -glucanas, isso pelo fato de ser uma matéria-prima de fácil inclusão em formulações de pães, biscoitos, dentre outros produtos. Nakov et al. (2019) utilizaram blends de farinha de cevada e de trigo em diferentes formulações de biscoitos nos quais os valores finais de β -glucana variou de 0,76 a 2,10 g/100 g.

Em outro estudo na área de panificação, Sharma et al. (2018) aplicou β -glucana extraída de grãos de milho geminados, em concentrações de 2,5 a 7,5% na produção de bolo e avaliou os impactos nas características tecnológicas do produto. A β -glucana aumentou o volume dos pães quando utilizada em até 5% e o produto ficou mais macio, com diminuição dos valores de dureza no teste de perfil de textura instrumental. Os autores também demonstraram que as maiores adições de β -glucana promoveram diminuição nos scores sensoriais e a recomendação

dos autores foi a produção de bolos com até 5,0 g/100 g de β -glucana, sendo assim, capaz de melhorar o valor nutricional do produto e manter adequadas características sensoriais e tecnológicas.

A β -glucana também pode ser utilizada na reformulação ou desenvolvimento de bebidas. Owczarek et al. (2015) desenvolveram uma bebida fermentada formulada com banana e aveia destinada a pessoas alérgicas à proteína do leite ou intolerantes à lactose, obtendo boa aceitação sensorial do produto. Foi utilizada na formulação β -glucana solúvel comercial, extraída de cereais. As concentrações de fibra alimentar e de β -glucana na bebida formulada foram de 1,2 g/100g e 0,4 g/100g, respectivamente.

Santos et al. (2019) também aplicaram β -glucana na formulação de bebida fermentada. Os autores desenvolveram um iogurte desnatado com 0,5% e 1% de β -glucana extraída de *Saccharomyces cerevisiae*, porém foi verificado que a adição de 1% não é viável, interferindo na estabilidade do produto durante o armazenamento. A adição de 0,5% foi a mais adequada tecnologicamente, porém impactou na aceitação sensorial do produto, demonstrando que os baixos escores da análise sensorial foram uma barreira para uma possível comercialização do produto.

A β -glucana também tem sido estudada na formulação de produtos cárneos, conforme relatado por Apostu et al. (2017) que avaliaram as alterações tecnológicas e sensoriais de massa cárnea destinada a produção de derivados adicionadas de 0,5% a 3% de β -glucana comercial isolada de leveduras. Os autores verificaram que o produto apresentou maior capacidade de retenção de água e capacidade de emulsão, mantendo a coesividade e causando ligeira diminuição na dureza do produto. Tais alterações, segundo os autores, podem ser exploradas no desenvolvimento de produtos mais macios destinados ao público idoso e infantil.

Outra fonte importante de β -glucana são os cogumelos, conforme demonstrado no estudo realizado por Sari et al. (2017). Os autores avaliaram 39 amostras de cogumelos comestíveis e selvagens e ressaltaram que em cogumelos utilizados tradicionalmente na culinária, como por exemplo o Shitake, tais valores variaram de 15-22 g/100 g (em base seca) demonstrando ser uma fonte muito interessante para ingestão de β -glucana. O maior valor encontrado foi na espécie *Trametes versicolor*, um cogumelo selvagem não comestível, correspondendo a 60,8 g/100 g de β -glucana (em base seca).

Dessa forma, percebe-se que β -glucana possui grandes possibilidades de aplicação em diferentes produtos alimentícios, já que possui diversos efeitos comprovadamente benéficos à saúde. Do ponto de vista tecnológico, a indústria de alimentos brasileira pode explorar sua aplicação na reformulação de produtos com diferentes texturas, já que, pelo fato de absorver

água e formar gel a β -glucana pode alterar as propriedades reológicas dos alimentos processados.

Inulina

A inulina, é um fruto-oligossacarídeo (FOS) de ocorrência natural que contém carboidratos não digeríveis. É um frutano (Figura 1D) que contém cadeias lineares de grupos frutossil ligados por ligações β (2-1) glicosídicas, terminadas com um grupo de anel α -D (1-2) glucopiranosídeo na extremidade redutora (Hoffman et al., 2020) Está presente em muitas espécies vegetais, como alcachofra de Jerusalém, raiz de dália, chicória, cebola e alho ou produtos sintetizados a partir de sacarose (Chaito et al., 2016; Hu et al., 2020). De acordo com a diferença de grau de polimerização (GP), a inulina pode ser dividida em cadeia curta de inulina ($GP \leq 10$), inulina natural ($GP 2-60$) e inulina de cadeia longa ($GP \geq 23$) (Luo et al., 2017).

As fibras alimentares, como a inulina e os fruto-oligossacarídeos (FOS), resistem à acidez gástrica e permanecem intactas durante o trânsito no intestino delgado, e são fermentadas pela microbiota comensal no ceco e no cólon. Elas desempenham um papel fundamental na regulação da função imune da mucosa e podem modular as respostas imunes e inflamatórias induzidas pelas bactérias intestinais (Myhill, et al., 2020; Wang et al., 2020), incluindo *Bifidobacterium* spp e *Lactobacillus* spp. Além da modulação da microbiota intestinal, o consumo de inulina pode reduzir a adiposidade e melhorar a sensibilidade à glicose. Além disso, recentemente foi demonstrado que a administração de inulina protege contra a esteatose hepática através de múltiplos mecanismos (Hoffman et al., 2020). Ainda possui a capacidade de diminuir o índice glicêmico, diminuir os níveis de triglicerídeos e colesterol (Raungrusmee et al., 2020).

Devido às suas propriedades nutricionais e fisiológicas, a inulina tem sido cada vez mais utilizada como ingrediente versátil em alimentos funcionais processados, como substituta de gordura e açúcar ou suplementos de fibras, obtendo alimentos com baixo valor energético (Shoab et al., 2016). Possui um sabor suave neutro, é moderadamente solúvel em água e confere corpo e palatabilidade. Do ponto de vista técnico-funcional, a inulina é considerada um agente texturizante e/ou um estabilizador para emulsões e espumas (Bengoechea et al., 2019).

Guimarães et al. (2020b) avaliaram as bebidas de soro de graviola produzidas com inulina de diferentes graus de polimerização (GP) e verificaram que a inulina com GP mais alta (≥ 23) pode ser utilizada para a fabricação de bebidas lácteas prebióticas mais estáveis, sem afetar a bioacessibilidade dos compostos bioativos e, conseqüentemente, a capacidade antioxidante, se comparada à baixa inulina de polimerização ($GP \geq 10$).

O grau de polimerização (GP) da inulina, bem como a presença de ramificações, é uma propriedade importante, pois influencia em sua funcionalidade de maneira significativa e, conseqüentemente, nas suas propriedades como solubilidade, viscosidade, estabilidade térmica, poder de doçura e atividade prebiótica (Lopes et al., 2015; Florowska et al., 2020).

Por sua vez, as propriedades texturais da inulina determinam seu uso em produtos alimentícios, não apenas como ingrediente funcional pró-saudável, mas também como agente de volume e gelificante e fator que aumenta a viscosidade, especialmente em produtos alimentícios com baixo teor de gordura (Florowska et al., 2020).

Suas características gelificantes podem ser usadas para fazer queijos, molhos, sopas e pastas com baixo teor de gordura. Suas propriedades de fusão permitem facilmente o processamento de sobremesas congeladas. Já as características de ligação permitem que a inulina seja usada em barras de cereais. Conseqüentemente, a reposição de gordura e carboidrato pela inulina oferece a vantagem de não comprometer o sabor ou a textura, além de proporcionar outros benefícios nutricionais. Portanto, a inulina representa um ingrediente chave que oferece novas oportunidades para uma indústria de alimentos que busca constantemente produtos com melhores características tecnológicas bem como com melhor sabor (Chaito et al., 2016).

A ANVISA (2019) permite a seguinte alegação funcional para a inulina: “A inulina contribui para o equilíbrio da flora intestinal. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”. Tal alegação pode ser utilizada quando a porção do produto pronto para consumo fornecer no mínimo 3 g de inulina se o alimento for sólido ou 1,5 g se o alimento for líquido. A quantidade de inulina deve ser declarada na tabela nutricional, logo abaixo ao teor de fibra alimentar.

Psyllium

O psyllium, também conhecido como ispaghula ou isabgol, é um polissacarídeo extraído da casca da semente de *Plantago ovata* Forsk, uma planta pertencente à família da Plantaginaceae Juss, com tradicional histórico de uso na medicina popular e tradicional, vem ganhando destaque devido aos seus inúmeros benefícios a saúde e aplicações em alimentos (Franco et al., 2020).

O psyllium é constituído de um importante componente que representa o maior grupo de constituintes biologicamente ativos, os carboidratos, sobretudo os monossacarídeos xilose e arabinose. A casca da semente de psyllium é rica em fibras solúveis, que quando em contato com água produzem um gel viscoso ou goma (mucilagem) composta, conforme demonstrado

na Figura 2, principalmente, por arabinoxilanos, uma fração de xilose ligada à arabinose com potencial aplicação tecnológica e funcional nos alimentos (Van et al., 2009; Chong et al., 2019; Ren et al., 2020).

Figura 2 – Fibra de psyllium e gel de psyllium (fibra adicionada de água).



Fonte: Os autores.

Não menos importante, há ainda uma significativa quantidade de polifenóis incluindo flavonoides que são responsáveis por comprovados efeitos benéficos à saúde e estão diretamente relacionados com a capacidade antioxidante do psyllium (Osheba; et al., 2013; Chong et al., 2019).

Há evidências científicas da eficiência do psyllium no tratamento de diversas doenças, entre elas: constipação, dor abdominal, resfriado, obesidade, sendo também atribuídas utilizações como anti-inflamatório, como laxante e na prevenção do câncer, hipertensão e de lesão gastrointestinal (Zhang et al., 2019; Franco et al., 2020). O consumo desta fibra reduz risco de diabetes e doenças do coração, além de interferir na absorção da gordura, no controle glicêmico, e na redução do nível de colesterol do sangue. Ademais, o gel viscoso aumenta a saciedade e reduz a fome. Por ser pouco fermentado, quando comparado a outras fibras, o psyllium causa menos flatulência e menos inchaço abdominal (Zhang et al., 2019; Chong et al., 2019; Ren et al., 2020).

Portanto, estudos mostraram que as propriedades funcionais do psyllium, juntamente à sua capacidade de formação de gel, faz deste um ingrediente promissor para enriquecer produtos alimentares.

Aplicado em bebida à base de chocolate, o psyllium mostrou uso potencial como espessante de alimentos (Souza et al., 2020). Em outras pesquisas conduzidas por Raymundo et al. (2014) e Fradinho et al. (2015) na formulação de biscoito e *cookie*, respectivamente, foi reduzida a quantidade de farinha e substituída por psyllium, com a possibilidade de fazer uma alegação à saúde nos rótulos desses produtos. Fratelli et al. (2018) consideraram ser um alternativa interessante o uso do psyllium na preparação de pão sem glúten.

Gupta et al. (2015) substituíram a farinha da pizza por psyllium e proteína de soja. No trabalho realizado por Yadav et al. (2016) o iogurte adicionado da casca *in natura* de psyllium e da mesma após processo parcial de hidrólise enzimática apresentou melhorias no perfil lipídico, potencial ação prebiótica, produção de butirato e, significativo aumento na população de *Lactobacillus* spp. Vale reportar que alterações tecnológicas como melhoria na firmeza e na viscosidade e minimização da sinérese foram observados quando Ladjevardi et al. (2015) adicionaram psyllium como substituto de gordura em iogurte.

Silva et al. (2019) desenvolveram uma massa de pizza fonte de fibras e sem glúten, tendo como base da formulação o psyllium, farinha de arroz e pasta de inhame. A adição do psyllium aumentou a extensibilidade da massa crua e a firmeza dos discos pré-assados, sendo a massa com maior concentração de psyllium a mais bem aceita pelos consumidores, demonstrando que é viável uma produção em maior escala destinada tanto para públicos celíacos quanto para consumidores que optam por dietas isentas de glúten.

Outros estudos foram também realizados utilizando o psyllium na elaboração de bolos, de biscoitos extrusados, como substituo de emulsificante em sorvete e, inclusive, em produtos cárneos (Brennan et al., 2012; Osheba et al., 2013; Beikzadeh et al., 2016; Mizuta et al., 2017).

Apesar de diferentes aplicações, a adição de psyllium pode apresentar alguns desafios em relação às propriedades físicas como por exemplo a textura e a aceitação sensorial, mas com o ajuste na elaboração, é possível produzir alimentos de melhor qualidade e adicionalmente ricos em fibra.

A ANVISA permite a seguinte alegação funcional relacionada ao psyllium: “O psyllium (fibra alimentar) auxilia na redução da absorção de gordura. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e a hábitos de vida saudáveis”. Tal alegação pode ser utilizada desde que a porção diária do produto pronto para consumo forneça no mínimo 3 g de psyllium se o alimento for sólido ou 1,5 g se o alimento for líquido (ANVISA, 2019).

Quitosana

A quitosana é um polissacarídeo animal, composto por moléculas que apresentam ligações do tipo β (1-4) d-glucosamina e N-acetil-d-glucosamina (Ruocco et al., 2016), estruturalmente, se assemelha a celulose, porém, difere-se quanto aos grupos funcionais reativos, pois, na quitosana, estes são representados pelo grupo amino no carbono dois e as hidroxilas nos carbonos três e seis (Qu et al., 2020). Na Figura 1C está ilustrada a estrutura molecular da quitosana.

A origem da quitosana se dá pela quitina, polímero encontrado em grandes concentrações em exoesqueletos de crustáceos (carapaças de caranguejo, cascas de camarão, gládios de lulas), além de outros organismos, como fungos e leveduras (Kumar et al., 2018). A quitina por meio de reações químicas ou enzimáticas, é isolada e transformada em quitosana através do processo de desacetilação (40-98%), que é a modificação do grupo acetamida da quitina em grupamento amina na quitosana (Hamed et al., 2016).

A presença desse grupamento amino da quitosana, faz com que em meio ácido (pH <6) ela se solubilize e sofra protonação, podendo nessas condições formar gel (Akbari-Alavijeh et al., 2020). Enquanto que, a presença de ligações do tipo beta 1-4, permite denominá-la como fibra alimentar, uma vez que, a mesma não é hidrolisável no trato gastrointestinal humano pela ausência de enzimas específicas (Hamed et al., 2016; Tang et al., 2020; Naveed et al., 2019).

Essas características justificam várias propriedades químicas e biológicas importantes da quitosana, que proporcionam maior versatilidade tecnológica e funcional (Priyadarshi et al., 2020), ampliando consideravelmente a sua aplicação principalmente na indústria alimentícia, farmacêutica e na agricultura (Qu et al., 2020; Xu et al., 2020).

Por isso, estudos vêm relacionando os benefícios da quitosana na prevenção de doenças e promoção da saúde, pelos efeitos metabólicos apresentados por esse polímero catiônico (Muxika et al., 2017). Anraku et al. (2018), avaliaram a influência de dietas suplementada com quitosana no peso corporal, e evidenciaram perda de peso significativa, atribuindo tal efeito pela diminuição na digestão e absorção de gordura da alimentação e efeito sacietógeno da fibra.

Resultados positivos também foram pronunciados no perfil lipídico sérico (May et al., 2020) e na redução de ácidos biliares *in vitro* (Xu et al., 2020), os autores destacaram que tais resultados estão associados a redução na absorção de gorduras da dieta, o que promove o esgotamento do *pool* de ácidos biliares hepáticos, e por isso, mais colesterol é desviado para produzir ácidos biliares, reduzindo assim, seus níveis no sangue. Essa excreção, está associada à capacidade de ligação da quitosana, através de interações entre suas cargas positivas com essas moléculas de cargas negativas, formando um composto insolúvel, que, posteriormente é

excretado nas fezes (Xu et al., 2020).

Além dos benefícios citados acima, Tang et al. (2020) estudaram o efeito de uma dieta rica em lipídeos suplementada com quitosana em camundongos. Os resultados confirmaram que este composto contribuiu para o controle do peso, redução da inflamação crônica (pelos mecanismos citados anteriormente) e ainda promoveu modificações positivas na microbiota intestinal, a qual foi justificada pela ação prebiótica da quitosana.

Esses resultados colaboram para que a quitosana seja empregada como ingrediente em produtos alimentícios, tais como: biscoitos dietéticos, macarrão, produtos de vinagre, substituídos por, substitutos de gorduras (Lizardi-Mendoza et al., 2016), lanches extrusados (Kumar et al., 2018), mistura de farinhas adicionada de quitosana com baixo teor de glúten para doentes celíacos (Ribeiro et al., 2019).

Outra funcionalidade da quitosana, é a sua importante ação antimicrobiana, por isso, tem-se estudado seu efeito na conservação de alimentos, como forma alternativa para substituição de conservantes sintéticos (Inanli et al., 2020). Apesar do mecanismo de ação antimicrobiana não estar totalmente claro, Manigandan et al. (2018) sugerem que esse efeito está relacionado a interação entre as naturezas policatiônicas da quitosana com membranas microbianas carregadas negativamente, provocando o vazamento intracelular e consequente desequilíbrio osmótico interno, o que resulta na inibição do crescimento de micro-organismos.

A Anvisa (2019) permite a seguinte alegação funcional para produtos elaborados com quitosana: “A quitosana auxilia na redução da absorção de gordura e colesterol. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”. Esta alegação pode ser utilizada desde que a porção do produto pronto para consumo forneça no mínimo 3 g de quitosana se o alimento for sólido ou 1,5g se o alimento for líquido. Na tabela de informação nutricional deve ser declarada a quantidade de quitosana abaixo de fibras alimentares e no rótulo deve constar a frase de advertência em destaque e negrito: "Pessoas alérgicas a peixes e crustáceos devem evitar o consumo deste produto".

Além disso, a quitosana tem sido utilizada como base para elaboração de filmes biodegradáveis e revestimentos comestíveis para alimentos, devido principalmente a sua capacidade de formação de gel em meio ácido diluído, biocompatibilidade, boas propriedades mecânicas e atividade antimicrobiana (Costa et al., 2020).

Por essas características, as perspectivas quanto ao seu emprego, tende a expandir ainda mais, principalmente pela possibilidade de se obter compostos com diferentes graus de desacetilação e polimerização, proporcionando versatilidade e flexibilidade, implicando consequentemente em maior aplicabilidade, seja na indústria de alimentos, farmacêutica ou até

mesmo na agricultura (Xu et al., 2020).

Licopeno

Os carotenoides são pigmentos naturais, presentes nos alimentos, configurando compostos de grande importância à saúde humana. Dentre estes, destaca-se o licopeno (Rodriguez-Amaya et al., 2008). Sua estrutura química corresponde a um hidrocarboneto de cadeia aberta, contendo 8 unidades de isopreno, com 40 átomos de carbono, 11 duplas ligações conjugadas e 2 duplas ligações não conjugadas dispostas em uma matriz linear, conforme demonstrado na Figura 1B.

Devido a sua estrutura acíclica (não possui o anel β -ionona), o licopeno não possui atividade como pró-vitamina A, ao contrário dos outros carotenoides, como o β -caroteno e o α -caroteno. O licopeno é encontrado em vegetais como tomate, mamão papaya, pimentas vermelhas e melancia (Petyaev, 2016). O tomate e seus produtos, sem dúvida, são sua maior fonte, contendo de 3 a 10 mg por 100 mg do fruto. Entretanto, seu teor pode variar de acordo com o estágio de maturação, variedade e condições edafoclimáticas (Grabowska et al., 2019).

Vários efeitos terapêuticos atribuídos ao licopeno têm sido reportados na literatura: diminuição da incidência de doenças cardiovasculares, agente na prevenção de diversos tipos de câncer, dentre estes o câncer de próstata, atividade antioxidante e anti-inflamatória, fotoproteção contra danos agudos à pele promovido pela exposição prolongada aos raios UV, prevenção e tratamento da osteoporose pós menopausa e doenças degenerativas como Alzheimer (Bacanli et al., 2017; Batista et al., 2020; Rao et al., 2020).

O licopeno tem sido extensivamente aplicado na elaboração de alimentos com o intuito de melhorar as propriedades funcionais destes. Entretanto, além da avaliação do teor do componente funcional na matriz do alimento desenvolvido, deve-se atentar também para o comportamento do mesmo durante o processo digestório. Kim et al. (2018) investigaram a atividade antioxidante de nuggets de carne suína adicionados de 1% de tomate em pó desidratado em diferentes temperaturas (60, 80 e 100 °C). Os autores observaram que a formulação contendo tomate desidratado a temperatura de 100 °C foi o que apresentou maior atividade antioxidante durante a digestão humana *in vitro*.

Além da atividade antioxidante, outras funções podem ser desempenhadas pelo licopeno. Em um estudo randomizado, onde 30 voluntários com obesidade moderada receberam doses de licopeno de 7 mg/dia e 30 mg/dia, foi observada uma modulação na microbiota intestinal com abundância de *Bifidobacterium adolescentis* e *B. longum*, evidenciando, de forma inédita, a sua ação prebiótica (Wiese et al., 2019).

A sua habilidade em sequestrar o oxigênio singlete, tem sido aproveitada também na elaboração de filmes plásticos, em especial em embalagens ativas e inteligentes para alimentos com alto teor lipídico. Neste sentido, Asadi et al. (2019) modificaram o ácido polilático (PLA) com nanopartículas de dióxido de titânio e licopeno. O filme preparado demonstrou atividade antioxidante e antimicrobiana contra cepas de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. Assis et al. (2020) desenvolveram embalagens biodegradáveis à base de acetato de celulose, associado a antioxidantes naturais como norbixina, zeaxantina e licopeno, e testadas durante a estocagem de óleo de girassol. Os filmes incorporados com 0,1% de licopeno e norbixina demonstram os melhores resultados em relação ao efeito antioxidante.

Ainda, o efeito da adição de 80 mg/Kg de extrato de licopeno (obtido a partir do tomate por extração supercrítica) ao óleo de linhaça, assegurou uma menor degradação, quando comparado a amostra controle, adicionada de 200 mg de BHT (butilhidroxitolueno) (Condori et al., 2020), um antioxidante sintético comumente adicionado com a finalidade de prevenir as reações de oxidação em óleos vegetais, embora apresente risco potencial à saúde humana (Romani et al., 2017).

A Anvisa permite a seguinte alegação funcional para o licopeno: “O licopeno tem ação antioxidante que protege as células contra os radicais livres. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis”. A quantidade de licopeno, contida na porção do produto pronto para consumo, deve ser declarada no rótulo, próximo à alegação Anvisa (2019).

O uso de embalagem ativas que interagem com o alimento de forma positiva e o emprego de compostos naturais, como o licopeno, em detrimento dos sintéticos, também são tendências promissoras para as indústria de alimentos. Destaca-se também a possibilidade de produção de alimentos funcionais através da impressão 3D, a qual, segundo Portanguen et al. (2019) permitirá em breve uma nova revolução industrial, que permitirá produzir alimentos personalizados, adaptados a diferentes categorias da população, tais como produtos funcionais destinados a idosos, jovens e consumidores com necessidades específicas.

4. Considerações Finais

A aplicação dos compostos bioativos β glucanas, inulina, psyllium, quitosana e licopeno como ingredientes para o processamento de alimentos funcionais, são potencialmente promissores para a indústria, permitindo a inovação e diversificação de linhas de produtos, e consequente reformulação de rótulos. Esta é uma demanda do consumidor moderno, alinhado

a qualidade de vida e bem estar. A indústria de alimentos, entretanto, deve direcionar seus esforços para reunir o conceito de saudabilidade à estabilidade das formulações, as questões regulatórias, ao custo final do produto e a uma boa aceitação sensorial.

Merece destaque ainda que, estudos “in vivo” conduzidos através de ensaios clínicos são necessários para comprovar a funcionalidade dos compostos bioativos em alimentos, representando um desafio para as áreas de química de alimentos, nutrição, farmacologia e biologia.

Referências

Akbari-Alavijeh, S., Shaddel, R., & Jafari, S. M. (2020). Encapsulation of food bioactives and nutraceuticals by various chitosan-based nanocarriers. *Food Hydrocolloids*, 105, 105774. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105774>

Anraku, M., Gebicki, J. M., Iohara, D., Tomida, H., Uekama, K., Maruyama, T., & Otagiri, M. (2018). Antioxidant activities of chitosans and its derivatives in in vitro and in vivo studies. *Carbohydrate polymers*, 199, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.016>

Anvisa. Diretoria de controle e monitoramento sanitários. Resolução-RE nº 1.591, de 14 de junho de 2017. *Diário Oficial da União*. Nº 114, 16 de junho de 2017. 34-72.

Anvisa. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alimentos com alegações de propriedades funcionais e ou de saúde. 2019. Recuperado de <http://portal.anvisa.gov.br/>

Apostu, P. M., Mihociu, T. E., & Nicolau, A. I. (2017). Technological and sensorial role of yeast β -glucan in meat batter reformulations. *Journal of food science and technology*, 54(9), 2653-2660. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2696-3>

Arroyo, B. J., Santos, A. P., de Almeida de Melo, E., Campos, A., Lins, L., & Boyano-Orozco, L. C. (2018). Bioactive Compounds and Their Potential Use as Ingredients for Food and Its Application in Food Packaging. In *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00008-6>

Asadi, S., & Pirsá, S. (2020). Production of Biodegradable Film Based on Polylactic Acid,

Modified with Lycopene Pigment and TiO₂ and Studying Its Physicochemical Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(2), 433-444. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01618-5>

Assis, R. Q., Rios, P. D. A., de Oliveira Rios, A., & Olivera, F. C. (2020). Biodegradable packaging of cellulose acetate incorporated with norbixin, lycopene or zeaxanthin. *Industrial Crops and Products*, 147, 112212. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112212>

Bacanli, M., Başaran, N., & Başaran, A. A. (2017). Lycopene: Is it Beneficial to Human Health as an Antioxidant. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14(3), 311. <https://doi.org/10.4274/tjps.43043>

Batista, F. C., Suzuki, V. Y., Sangiuliano, L. D. C., Gomes, H. C., de Oliveira Filho, R. S., Oliveira, C. R., & Ferreira, L. M. (2020). Alimentos com ação fotoprotetora: possível prevenção no câncer de pele. *Brazilian Journal of Natural Sciences*, 3(1), 268-268. <https://doi.org/10.31415/bjns.v3i1.87>

Beikzadeh, S., Peighardoust, S. H., Beikzadeh, M., Javar-Abadi, M. A., & Homayouni-Rad, A. (2016). Effect of psyllium husk on physical, nutritional, sensory and staling properties of dietary prebiotic sponge cake. *Czech Journal of Food Sciences*, 34(6), 534-540. <https://doi.org/10.17221/551/2015-CJFS>

Bengoechea, C., López-Castejón, M. L., Marquez, S., Salinas, V., Puppo, C., & Guerrero, A. (2019). Gelation properties of calcium-inulin gels. *Food Hydrocolloids*, 97, 105239. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105239>

Brasil. Resolução nº 18, de 30 de Abril de 1999. Regulamento técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. *Diário Oficial da União*; Poder executivo, 3 de Maio de 1999, Seção 1, p.11. 1999.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 359, de 23 de dezembro de 2003. Aprova Regulamento Técnico de Porção de Alimentos Embalados para fins de Rotulagem Nutricional. *Diário Oficial da União*: Brasília, 23 de

dezembro de 2003.

Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., Brennan, C. S., & Tiwari, B. K. (2012). Impact of dietary fibre-enriched ready-to-eat extruded snacks on the postprandial glycaemic response of non-diabetic patients. *Molecular nutrition & food research*, 56(5), 834-837. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100760>

Chaito, C., Judprasong, K., & Puwastien, P. (2016). Inulin content of fortified food products in Thailand. *Food Chemistry*, 193, 102-105. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.140>

Chong, R. W. W., Ball, M., McRae, C., & Packer, N. H. (2019). Comparing the chemical composition of dietary fibres prepared from sugarcane, psyllium husk and wheat dextrin. *Food chemistry*, 298, 125032. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125032>

Condori, M. A. V., Chagman, G. J. P., Barriga-Sanchez, M., Vilchez, L. F. V., Ursetta, S., Pérez, A. G., & Hidalgo, A. (2020). Effect of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) lycopene-rich extract on the kinetics of rancidity and shelf-life of linseed (*Linum usitatissimum* L.) oil. *Food chemistry*, 302, 125327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125327>

Costa, J. C. M., Miki, K. S. L., Ramos, A. S., & Teixeira-Costa, B. E. (2020). Desenvolvimento de filmes biodegradáveis à base de amido de inhame roxo / quitosana para aplicação em alimentos. *Heliyon*, 6 (4), e 03718. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03718>

Delcour, J. A., & Hosney, R. C. (2010). Principles of cereal science and technology. Cap. 1. *Structure of Cereal*. Third Edition, 1-22. 2010.

Demiris, G., Oliver, D. P., & Washington, K. T. (2019). Defining and Analyzing the Problem. *Behavioral Intervention Research in Hospice and Palliative Care*, 27-39.

Florowska, A., Florowski, T., Sokołowska, B., Janowicz, M., Adamczak, L., & Pietrzak, D. (2020). Effect of high hydrostatic pressure on formation and rheological properties of inulin gels. *LWT*, 121, 108995. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108995>

Franco, E. A. N., Sanches-Silva, A., Ribeiro-Santos, R., & de Melo, N. R. (2020). Psyllium

(*Plantago ovata* Forsk): From evidence of health benefits to its food application. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 166-175. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.006>

Fradinho, P., Nunes, M. C., & Raymundo, A. (2015). Developing consumer acceptable biscuits enriched with Psyllium fibre. *Journal of food science and technology*, 52(8), 4830-4840. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1549-6>

Fratelli, C., Muniz, D. G., Santos, F. G., & Capriles, V. D. (2018). Modelling the effects of psyllium and water in gluten-free bread: An approach to improve the bread quality and glycemic response. *Journal of functional foods*, 42, 339-345. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.01.015>

Grabowska, M., Wawrzyniak, D., Rolle, K., Chomczyński, P., Oziewicz, S., Jurga, S., & Barciszewski, J. (2019). Let food be your medicine: Nutraceutical properties of lycopene. *Food & function*, 10(6), 3090-3102. <https://doi.org/10.1039/c9fo00580c>

Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Silva, R., Rocha, R. S., Graça, J. S., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Sant'Ana, A. S., Duarte, M. C. K. H., Freitas, M. Q., & Cruz, A. G. (2020a). Impact of probiotics and prebiotics on food texture. *Current Opinion in Food Science*, 33, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.002>

Guimarães, J. T., Silva, E. K., Arruda, H. S., Freitas, M. Q., Pastore, G. M., Meireles, M. A. A., & Cruz, A. G. (2020). How does the degree of inulin polymerization affect the bioaccessibility of bioactive compounds from soursop whey beverage during in vitro gastrointestinal digestion. *Food Hydrocolloids*, 101, 105511. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105511>

Gupta, C. S., Jeyarani, T., & Rajiv, J. (2015). Rheology, fatty acid profile and quality characteristics of nutrient enriched pizza base. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2926-2933. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1338-2>

Hamed, I., Özogul, F., & Regenstein, J. M. (2016). Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. *Trends in food science & technology*, 48, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.11.007>

Hoffman, J. B., Petriello, M. C., Morris, A. J., Mottaleb, M. A., Sui, Y., Zhou, C., & Hennig, B. (2020). Prebiotic inulin consumption reduces dioxin-like PCB 126-mediated hepatotoxicity and gut dysbiosis in hyperlipidemic Ldlr deficient mice. *Environmental Pollution*, 261, 114183. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114183>

Hu, B., Wang, K., Han, L., Zhou, B., Yang, J., & Li, S. (2020). Pomegranate seed oil stabilized with ovalbumin glycated by inulin: Physicochemical stability and oxidative stability. *Food Hydrocolloids*, 102, 105602. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105602>

Inanli, A. G., Tümerkan, E. T. A., El Abed, N., Regenstein, J. M., & Özogul, F. (2020). The impact of chitosan on seafood quality and human health: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 404-416. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.029>

Kim, H. S., & Hur, S. J. (2018). Effects of in vitro Human Digestion on the Antioxidant Activity and Stability of Lycopene and Phenolic Compounds in Pork Patties Containing Dried Tomato Prepared at Different Temperatures. *Journal of food science*, 83(7), 1816-1822. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14205>

Kumar, R., Xavier, K. M., Lekshmi, M., Balange, A., & Gudipati, V. (2018). Fortification of extruded snacks with chitosan: effects on techno functional and sensory quality. *Carbohydrate polymers*, 194, 267-273. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.050>

Ladjevardi, Z. S., Gharibzahedi, S. M. T., & Mousavi, M. (2015). Development of a stable low-fat yogurt gel using functionality of psyllium (*Plantago ovata* Forsk) husk gum. *Carbohydrate polymers*, 125, 272-280. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.051>

Lizardi-Mendoza, J., Monal, W. M. A., & Valencia, F. M. G. (2016). Chemical characteristics and functional properties of chitosan. In *Chitosan in the preservation of agricultural commodities* (pp. 3-31). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802735-6.00001-X>

Lopes, S. M., Krausová, G., Rada, V., Gonçalves, J. E., Gonçalves, R. A., & de Oliveira, A. J. (2015). Isolation and characterization of inulin with a high degree of polymerization from roots

of *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni. *Carbohydrate research*, 411, 15-21.
<https://doi.org/10.1016/j.carres.2015.03.018>

Luo, D., Liang, X., Xu, B., Kou, X., Li, P., Han, S., & Zhou, L. (2017). Effect of inulin with different degree of polymerization on plain wheat dough rheology and the quality of steamed bread. *Journal of Cereal Science*, 75, 205-212. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.04.009>

May, K. L., Tangso, K. J., Hawley, A., Boyd, B. J., & Clulow, A. J. (2020). Interaction of chitosan-based dietary supplements with fats during lipid digestion. *Food Hydrocolloids*, 105965. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105965>

Manigandan, V., Karthik, R., Ramachandran, S., & Rajagopal, S. (2018). Chitosan applications in food industry. In *Biopolymers for food design* (pp. 469-491). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811449-0.00015-3>

Mizuta, A. G., Paraíso, C. M., Sena, G., Bergamasco, R. C., & Madrona, G. Desenvolvimento de Sorvete com Substituição de Emulsificante por Gel e Mucilagem de Psyllium. In: Anais do Simpósio de Bioquímica e Biotecnologia, 2017, *Anais eletrônicos*, Campinas, Galoá, 2017. Recuperado de <https://proceedings.science/simbbtec/papers/desenvolvimento-de-sorvete-com-substituicao-de-emulsificante-por-gel-e-mucilagem-de-psyllum>.
<https://doi.10.17648/simbbtec-2017-80901>

Muxika, A., Zugasti, I., Guerrero, P., & De la Caba, K (2017). Applications of Chitosan in Food Packaging. *BIOMAT Research Group*. University of the Basque Country Donostia-San Sebastián, Spain, 2017.

Myhill, L. J., Jensen, P., Zakeri, A., Nielsen, L. F., Jakobsen, S. R., Mejer, H., Thamsborg, S. M., & Williams, A. R. (2020). Effects of the dietary fibre inulin and Trichuris suis products on inflammatory responses in lipopolysaccharide-stimulated macrophages. *Molecular Immunology*, 121, 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2020.03.006>

Nakov, G., Stamatovska, V., Jukić, M., Necinova, L., Ivanova, N., Šušak, A., & Komlenić, D. K. (2019). Beta glucans in biscuits enriched with barley flour made with different sweeteners. *Journal of hygienic engineering and design*, 26(1), 88-92.

Naveed, M., Phil, L., Sohail, M., Hasnat, M., Baig, M. M. F. A., Ihsan, A. U., Shumzaid, M., Kakar, M. U., Khan, T. M., Akabar, M. D., & Hussain, M. I. (2019). Chitosan oligosaccharide (COS): An overview. *International journal of biological macromolecules*, 129, 827-843. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.192>

Osheba, A. S., Hussien, S. A., & El-Dashlouty, A. A. (2013). Evaluation of some vegetal colloids on the quality attributes of beef sausage. *Adv. J. Food Sci. Technol*, 5(6), 743-751.

Owczarek, L., Jasinska, U. T., & Skapska, S. (2015). "Development of 'oat banana fermented beverage with beta-glucan additive," *Poste py Nauki i Technologii Przemysłu Rolno-Spozywczego*, 70(2), 5–25.

Panjabari, N. R., Singh, A. K., Ganguly, S., & Indumati, K. P. (2015). Beta-glucan rich composite flour biscuits: modelling of moisture sorption isotherms and determination of sorption heat. *Journal of food science and technology*, 52(9), 5497-5509. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1658-2>

Petyaev, I. M. (2016). Lycopene deficiency in ageing and cardiovascular disease. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2016.

Portanguen, S., Tournayre, P., Sicard, J., Astruc, T., & Mirade, P. S. (2019). Toward the design of functional foods and biobased products by 3D printing: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 188-198.

Priyadarshi, R., & Rhim, J. W. (2020). Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102346. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102346>

Qu, B., & Luo, Y. (2020). Chitosan-based hydrogel beads: Preparations, modifications and applications in food and agriculture sectors—A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.240>

Rao, L. G., Mackinnon, E. S., & Rao, A. V. (2020). Lycopene as an antioxidant in the prevention and treatment of postmenopausal osteoporosis. In *Aging* (pp. 223-232). Academic

Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818698-5.00022-5>

Raungrusmee, S., Shrestha, S., Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2020). Influence of resistant starch, xanthan gum, inulin and defatted rice bran on the physicochemical, functional and sensory properties of low glycemic gluten-free noodles. *LWT*, 109279. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109279>

Raymundo, A., Fradinho, P., & Nunes, M. C. (2014). Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive carbohydrates and dietary fibre*, 3(2), 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.03.001>

Ren, Y., Yakubov, G. E., Linter, B. R., MacNaughtan, W., & Foster, T. J. (2020). Temperature fractionation, physicochemical and rheological analysis of psyllium seed husk heteroxylan. *Food Hydrocolloids*, 104, 105737. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105737>

Ribeiro, M., Picascia, S., Rhazi, L., Gianfrani, C., Carrillo, J. M., Rodriguez-Quijano, M., Branlard, G., & Nunes, F. M. (2019). Effect of in situ gluten-chitosan interlocked self-assembled supramolecular architecture on rheological properties and functionality of reduced celiac-toxicity wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 90, 266-275. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.026>

Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M., & Amaya-Farfan, J. *Fontes Brasileiras de Carotenoides: Tabela Brasileira de Composição de Carotenoides em Alimentos*. Brasília: MMA/SBF, 2008. 100p.

Romani, V. P., Martins, V. G., & Soares, L. A. D. S. (2017). Oxidação lipídica e compostos fenólicos como antioxidantes em embalagens ativas para alimentos. *VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias*, 27(1), 38-56.

Ruocco, N., Costantini, S., Guariniello, S., & Costantini, M. (2016). Polysaccharides from the marine environment with pharmacological, cosmeceutical and nutraceutical potential. *Molecules*, 21(5), 551. <https://doi.org/10.3390/molecules21050551>

Santos, J. S., França, V. R., Venâncio, R. L., Hasegawa, P. H., de Oliveira, A. G., & Costa, G. A. N. (2019). β -glucano de *Saccharomyces cerevisiae* na produção de iogurte desnatado. *Bioscience Journal*, 35 (2). <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n2a20198-42109>

Sari, M., Prange, A., Lelley, J. I., & Hambitzer, R. (2017). Screening of beta-glucan contents in commercially cultivated and wild growing mushrooms. *Food Chemistry*, 216, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.010>

Sharma, S., Saxena, D. C., & Riar, C. S. (2018). Effect of addition of different levels of β -glucan from minor millet on the functional, textural and sensory characteristics of cake premix and cake. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(2), 1186-1194. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9732-5>

Silva, N. A. B., Silva, J. C., dos Reis Silva, S. L., Gonçalves, A. C. A., da Silva, W. A., Pires, C. V., & Trombete, F. M. (2019). Desenvolvimento e avaliação sensorial de massa de pizza sem glúten, fonte de fibras e adicionada de psyllium. *Caderno de Ciências Agrárias*, 11, 1-8. <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2019.15975>

Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., Shakeel, A., Ansari, A., & Niazi, S. (2016). Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate polymers*, 147, 444-454. <https://doi.org/10.11606/D.97.2018.tde-08062018-183427>

Silva, V. S. & Orlandelli, R. C. (2019). Desenvolvimento de alimentos funcionais nos últimos anos: uma revisão. *Revista UNINGÁ*, 56(2), 182–194.

Sofi, S. A., Singh, J., & Rafiq, S. (2017). β -Glucan and functionality: A review. *EC Nutr*, 10, 67-74.

Souza, G., dos Santos, S. S., Bergamasco, R., Antigo, J., & Madrona, G. S. (2020). Antioxidant activity, extraction and application of psyllium mucilage in chocolate drink. *Nutrition & Food Science*. <https://doi.org/10.1108/NFS-07-2019-0211>

Suchecka, D., Gromadzka-Ostrowska, J., Żyła, E., Harasym, J. P., & Oczkowski, M. (2017). Selected physiological activities and health promoting properties of cereal beta-glucans. A

review. *J. Anim. Feed Sci*, 26(3), 183-191. <https://doi.org/10.22358/jafs/70066/2017>

Tang, D., Wang, Y., Kang, W., Zhou, J., Dong, R., & Feng, Q. (2020). Chitosan attenuates obesity by modifying the intestinal microbiota and increasing serum leptin levels in mice. *Journal of Functional Foods*, 64, 103659. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103659>

Van Craeyveld, V., Delcour, J. A., & Courtin, C. M. (2009). Extractability and chemical and enzymic degradation of psyllium (*Plantago ovata* Forsk) seed husk arabinoxylans. *Food chemistry*, 112(4), 812-819. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.035>

Wang, W. D., Li, C., Bin, Z., Huang, Q., You, L. J., Chen, C., C., Fu, X., & Liu, R. H. (2020). Physicochemical properties and bioactivity of whey protein isolate-inulin conjugates obtained by Maillard reaction. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 326-335. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.086>

Wiese, M., Bashmakov, Y., Chalyk, N., Nielsen, D. S., Krych, Ł., Kot, W., Klochkov, V., Dmitry Pristensky, D., Bandaletova, T., Chernyshova, M., Petyaev, I., & Kyle, N. (2019). Prebiotic effect of lycopene and dark chocolate on gut microbiome with systemic changes in liver metabolism, skeletal muscles and skin in moderately obese persons. *BioMed Research International*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4625279>

Xu, W., Mohan, A., Pitts, N. L., Udenigwe, C., & Mason, B. (2020). Bile acid-binding capacity of lobster shell-derived chitin, chitosan and chitooligosaccharides. *Food Bioscience*, 33, 100476. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100476>

Yadav, N., Sharma, V., Kapila, S., Malik, R. K., & Arora, S. (2016). Hypocholesterolaemic and prebiotic effect of partially hydrolysed psyllium husk supplemented yoghurt. *Journal of Functional Foods*, 24, 351-358. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.028>

Zhang, J., Wen, C., Zhang, H., & Duan, Y. (2019). Review of isolation, structural properties, chain conformation, and bioactivities of psyllium polysaccharides. *International journal of biological macromolecules*, 139, 409-420. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.014>

Zhu, F., Du, B., & Xu, B. (2016). A critical review on production and industrial applications

of beta-glucans. *Food Hydrocolloids*, 52, 275-288.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.003>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Andreia Aparecida dos Anjos Chagas – 10%

Regiane Ribeiro-Santos – 15%

Kamila de Oliveira do Nascimento – 15%

Renata Ferreira Santana – 15%

Denise Rosane Perdomo Azeredo – 15%

Lanamar de Almeida Carlos – 10%

Felipe Machado Trombete – 20%