

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE
MESQUITA FILHO” INSTITUTO DE QUÍMICA - ARARAQUARA
- SP**

Gabriel Paschoal Pinto

Pectina: Uma Abordagem Sustentável para Aplicações Tecnológicas

Araraquara
2025

GABRIEL PASCHOAL PINTO

Pectina: Uma abordagem Sustentável para Aplicações Tecnológicas

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Instituto de Química,
Universidade Estadual Paulista, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharelado em Química.
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Fernando
Costa Marques

Araraquara, 16 de junho de 2025

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ANDRE HENRIQUE BARALDI DOURADO
Data: 30/06/2025 16:55:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Henrique Baraldi Dourado
Instituto de Química - UNESP, Araraquara



Documento assinado digitalmente
MARCO AURELIO CEBIM
Data: 30/06/2025 14:10:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marco Aurélio Cebim
Instituto de Química - UNESP, Araraquara

P659p

Pinto, Gabriel Paschoal

Pectina : uma abordagem sustentável para aplicações tecnológicas / Gabriel Paschoal Pinto. -- Araraquara, 2025
30 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Química) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química,
Araraquara

Orientador: Rodrigo Fernando Costa Marques

1. Resíduos industriais. 2. Propriedades físicas e químicas.
3. Pectina. 4. Cítricos. 5. Biotecnologia vegetal. I. Título.

Resumo

A pectina é um tipo de macromolécula natural, uma das mais complexas, que é um heteropolissacarídeo composto principalmente de resíduos de ácido galacturônico. Este polímero é uma fibra dietética e é comumente usado como agente gelificante e estabilizante na indústria alimentícia.

A principal extração industrial de pectina é realizada pela solubilização da protopectina no bagaço de maçã e nas cascas de frutas cítricas em pH ligeiramente ácido e a alta temperatura. Em torno dessa extração, estudos recentes têm se focado em uma nova fonte de matéria-prima e na otimização das condições de extração da pectina para influenciar a qualidade e o rendimento do produto, com foco na melhoria de suas características.

O presente estudo se concentra nas fontes de pectina, aplicações, métodos industriais de extração e nas principais técnicas usadas para caracterizar a pectina.

Palavras-chave: Pectina, matéria-prima, obtenção, propriedades, polissacarídeos, resíduos agroindustriais, extração.

Abstract

Pectin is a type of natural macromolecule, one of the most complex, which is a heteropolysaccharide composed mainly of galacturonic acid residues. This polymer is a dietary fiber and is commonly used as a gelling agent and stabilizer in the food industry.

The main industrial extraction of pectin is carried out by solubilizing protopectin in apple pomace and citrus peels at a slightly acidic pH and high temperature. Around this extraction, recent studies have focused on a new source of raw material and the optimization of pectin extraction conditions to influence the quality and yield of the product, with a focus on improving its characteristics.

This study focuses on pectin sources, applications, industrial extraction methods and the main techniques used to characterize pectin.

Keywords: Pectin, raw material, obtaining, properties, polysaccharides, agro-industrial waste, extraction.

Sumário

1. Introdução
2. Fundamentação Teórica sobre a Pectina
3. Aspectos Estruturais da Pectina
4. Principais Fontes de Extração da Pectina
5. Propriedades Físicas e Químicas da Pectina
6. Métodos de Extração da Pectina
7. Aplicações Tecnológicas da Pectina
8. Sustentabilidade na Produção e no Uso da Pectina
9. Considerações Finais
10. Referências Bibliográficas

1. Introdução

A busca por alternativas sustentáveis para aplicações tecnológicas tem despertado crescente interesse na área da Química, impulsionando estudos em torno de materiais de origem renovável e baixo impacto Ambiental com rápido período de degradação. A pectina, um polissacarídeo estrutural presente em paredes celulares de vegetais, especialmente em frutos cítricos e maçãs, figura como um dos principais aditivos naturais na indústria alimentícia, destacando-se por suas propriedades de gelificação, espessamento e potencial prebiótico, que refere-se à capacidade de certas substâncias alimentares não digeríveis, como fibras solúveis, de estimular seletivamente o crescimento e/ou atividade de bactérias benéficas no intestino. (UFSM, 2017; SCIELO, 2020)

O crescente interesse no aproveitamento de resíduos agroindustriais para obtenção de pectina reforça a relevância social e ambiental do tema, promovendo a valorização de fontes alternativas e o desenvolvimento de processos sustentáveis. Além de reduzir o desperdício e agregar valor econômico a subprodutos vegetais, a pectina apresenta notável versatilidade de aplicação, abrangendo segmentos como farmácia, cosméticos, indústrias de revestimento e biotecnologia. (BDTD, 2022)

Cientificamente, a pectina distingue-se pelas propriedades físico-químicas associadas ao grau de metoxilação, solubilidade em água e composição estrutural, que influenciam diretamente sua funcionalidade e processo de extração. No contexto tecnológico, é fundamental compreender que fontes a pectina pode ser extraída, como se desenvolvem os métodos de extração e quais aplicações podem ser implementadas a partir dessa biomolécula.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar os aspectos estruturais da pectina, suas fontes, propriedades físicas e químicas, métodos de extração e aplicações. A problemática central conduz a seguinte pergunta de pesquisa: De qual fonte a pectina é extraída, como é feita sua extração e quais aplicações são possíveis a partir dela?

Para atender a esses objetivos, a monografia estrutura-se apresentando inicialmente um panorama teórico sobre a pectina, seguido da análise de suas características estruturais, principais fontes de extração, propriedades físico-químicas, métodos de extração e, por fim, um levantamento das aplicações tecnológicas mais relevantes, ressaltando o caráter sustentável de sua utilização.

2. Fundamentação Teórica sobre a Pectina

A pectina é um heteropolissacarídeo de elevada relevância no contexto dos polissacarídeos vegetais, estando presente de forma significativa nas paredes celulares de plantas superiores, especialmente nas partes não lenhosas. Seu nome origina-se do grego "pēktikós", que remete à ideia de coagulação e firmeza, características intrínsecas associadas à formação de géis, largamente exploradas na indústria alimentícia e farmacêutica (Infopedia, 2024)

Do ponto de vista histórico, a identificação da pectina remonta a experimentos de Nicolas Louis Vauquelin no final do século XVIII, com posterior caracterização química realizada por Henri Braconnot em 1824, quando estabeleceu o termo "pectina" para nomear o composto responsável pela formação de geleias a partir de frutas. Desde então, a pectina foi reconhecida como um agente estrutural essencial em frutas, especialmente cítricas e maçãs, consolidando-se como matéria-prima estratégica para produtos de valor agregado. (SCIELO, 2020).

Quimicamente, a pectina compõe-se predominantemente de resíduos de ácido galacturônico, unidos por ligações α -1,4-glicosídicas, com grau variável de metoxilação e ramificações laterais que incluem açúcares como a rhamnose, arabinose e galactose. A complexidade estrutural é determinante para suas propriedades físico-químicas, sendo o grau de metoxilação um dos fatores críticos para a formação de géis e para a classificação da pectina em alto ou baixo teor de metoxilas. (SCIELO, 2020; IngredientFood, 2023).

Entre as principais propriedades da pectina, destaca-se sua notável capacidade de formar géis com açúcares em meio ácido, funcionalidade que fundamenta o uso em produtos alimentícios como geleias, compotas e balas de goma. Além disso, atua como espessante e agente estabilizante em sucos, bebidas e produtos lácteos. O comportamento gelificante e estabilizante da pectina depende do pH, da concentração de sólidos solúveis e da presença de íons de cálcio ou outros cations. (Funcionais Nutracêuticos, 2023; IngredientFood, 2023).

A literatura recente ressalta não apenas o papel funcional da pectina como aditivo, mas também sua contribuição para a saúde humana, uma vez já que é considerada uma fibra dietética solúvel, beneficiando o trânsito intestinal e atuando como prebiótico. Esses atributos são responsáveis por amplo interesse em estratégias de extração sustentáveis, especialmente a partir de resíduos agroindustriais, visando ao reaproveitamento de subprodutos da indústria de frutas cítricas, maçãs e outras fontes vegetais. (Funcionais Nutracêuticos, 2023; BDTD, 2022).

A diversidade estrutural da pectina extravasa esta configuração linear, incluindo até 17

diferentes monossacarídeos, como ramnose, arabinose, galactose, metilpentoses e apiose, formando segmentos e ramificações variadas (Willats; Knox; Mikkelsen, 2006). Essa complexidade resulta na existência de domínios estruturais típicos, como a homogalacturonana (HG), responsável por aproximadamente 60% a 65% da composição, e as rhamnogalacturonanas I e II, que apresentam cadeias laterais de diferentes açúcares.

Do ponto de vista químico, a estrutura da pectina é modulada por modificações como a esterificação dos grupos carboxílicos com metanol (resultando em o grau de metoxilação), acetilação e ligações laterais com ácidos fenólicos. Tais modificações definem o comportamento gelificante, a solubilidade em água e a interação com outros componentes da matriz alimentar ou de fórmulas industriais. Segmentos de pectina denominados apiogalacturonanas costumam ser observados predominantemente em plantas aquáticas monocotiledôneas, caracterizando-se por substituições dos resíduos de galacturônico com apiose e aumentando ainda mais a diversidade funcional desta biomolécula. (Willats; Knox; Mikkelsen, 2006).

Por consequência, a pectina desempenha, além do papel fundamental como matriz adesiva na lamela média das células vegetais, funções industriais estratégicas como agente espessante, estabilizante e fibra alimentar solúvel, destacando sua versatilidade tecnológica e nutricional.

3. Aspectos Estruturais da Pectina

A pectina destaca-se como um biomacromolécula de importância fundamental para a estrutura e funcionalidade das paredes celulares vegetais. Seu entendimento estrutural é essencial para correlacionar propriedades físico-químicas, eficácia em aplicações tecnológicas e processos industriais. A arquitetura estrutural da pectina é notoriamente heterogênea, constituída por diferentes domínios poliméricos e variados padrões de ramificação, o que lhe confere reconhecida versatilidade funcional. (SCIELO, 2020).

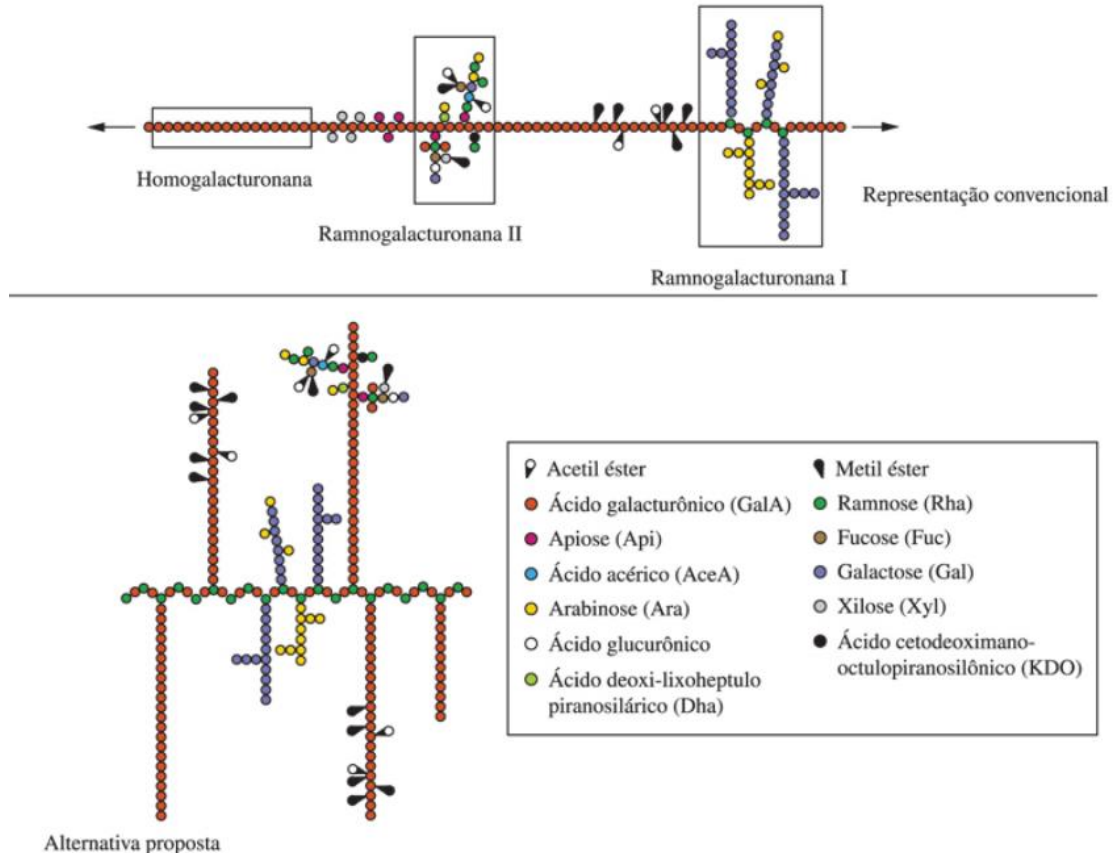


Figura 1- Representação proposta da estrutura pectica/Fonte: SCIELO. **Pectina: da matéria-prima ao produto final, 2012**

O domínio mais abundante da pectina é a homogalacturonana (HG), responsável por cerca de 60-65% da molécula total. Trata-se de uma cadeia linear composta por unidades de ácido galacturônico, as quais se ligam predominantemente por ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow4)$. A HG pode apresentar distintos graus de metoxilação – ou seja, distintas proporções de grupos metoxila esterificando resíduos carboxílicos – que modulam diretamente propriedades, como solubilidade em água, comportamento gelificante e reatividade química. (Infoescola, 2024; Indice, 2024).

Além da homogalacturonana, identificam-se domínios complexos de rhamnogalacturonana: a rhamnogalacturonana I (RG-I), que constitui-se por um esqueleto de unidades alternadas de ácido galacturônico e rhamnose, apresentando ramificações laterais ricas em arabinose, galactose e outros monossacarídeos. Essa conformação estrutural confere elevada heterogeneidade e diversidade funcional, favorecendo interações específicas com outros componentes da matriz celular vegetal. (SCIELO, 2020; Willats et al., 2006).

A rhamnogalacturonana II (RG-II) representa um dos domínios estruturalmente mais complexos identificados em polissacarídeos vegetais, contendo até doze tipos diferentes de monossacarídeos, incluindo açúcares raros, como apiose. Suas ramificações laterais são críticas para a estabilidade e rigidez da parede celular. Em termos quantitativos, a RG-II compõe cerca de 10% da pectina total, mas seu papel estrutural é determinante. (SCIELO, 2020).

O grau de metoxilação (DM) consiste em um parâmetro estrutural fundamental, definindo o percentual de grupos éster metoxílicos presentes nas cadeias do ácido galacturônico. O DM determina as propriedades de gelificação da pectina: pectinas com alto grau de metoxilação (acima de 50%) gelificam na presença de alto teor de açúcar e meio ácido, enquanto pectinas com baixo grau de metoxilação apresentam capacidade de gelificação na presença de íons cálcio, mesmo em menores concentrações de açúcar. Essa determinação é realizada através de análises envolvendo Ressonância Magnética Nuclear. (Infoescola, 2024).

As ligações predominantes nas cadeias da pectina são do tipo $\alpha(1\rightarrow4)$ entre resíduos de ácido galacturônico, e possui ligações $\alpha(1\rightarrow2)$ entre rhamnose e outros açúcares nas ramificações da RG-I. Por sua vez, a RG-II destaca-se pelas múltiplas ligações e variações estruturais, incluindo substituições incomuns e ramificações complexas. (Willats et al., 2006).

O refinamento do entendimento estrutural da pectina tem sido fortemente subsidiado pelo uso de técnicas analíticas modernas, com destaque para a ressonância magnética nuclear (RMN), que permite identificar padrões de ramificação, domínios moleculares e o grau de metoxilação com elevada precisão. Adicionalmente, cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e espectrometria de massas (EM) vêm sendo empregadas para identificação de monossacarídeos constituintes e análise das sequências de ramificação. (SCIELO, 2020; IFC, 2023; Willats, Knox & Mikkelsen, 2006).

A relevância estrutural da pectina reflete-se diretamente nas suas aplicações industriais. O perfil de ramificação, grau de metoxilação e presença dos diferentes domínios estruturais determinam sua aptidão para formação de géis, atuação como estabilizante em bebidas,

capacidade de encapsulação de compostos bioativos e até propriedades como fibra alimentar solúvel. Assim, o conhecimento aprofundado dos aspectos estruturais da pectina é premissa básica para o desenvolvimento de processos produtivos otimizados, formulações inovadoras e aplicação ampliada dessa biomolécula em diversas áreas.

A análise das principais fontes de extração da pectina revela não apenas diferenças em rendimento quantitativo, mas também em aspectos qualitativos que impactam o perfil funcional do polissacarídeo. Tradicionalmente, os resíduos agroindustriais de frutas cítricas, como laranja, limão e toranja, e, em menor proporção, o bagaço de maçã, representam as matérias-primas mais utilizadas comercialmente. A preferência pelas cascas de cítricos se deve à elevada concentração de pectina, aliada à qualidade consistente do produto final, fatores que tornam esses resíduos altamente atrativos do ponto de vista tecnológico e econômico. (SCIELO, 2020; UTFPR, 2022).

No caso das maçãs, a extração de pectina realiza-se sobretudo a partir do seu bagaço, compreendendo restos de polpa, casca e sementes provenientes do processamento industrial de sucos. Essa matéria-prima, embora apresente rendimento variado de acordo com a variedade e condições agronômicas, gera um produto valorizado pela estabilidade e pelas características sensoriais, especialmente adequado à fabricação de geleias e recheios para confeitaria. (pt.cnadditives.com, 2024).

Alternativamente, outras fontes como bagas (morangos, amoras, framboesas), frutas de caroço (pêssegos, cerejas, ameixas) e plantas como a beterraba sacarina têm sido investigadas, sobretudo em contextos regionais e pesquisas voltadas à diversificação de matérias-primas. No entanto, essas fontes apresentam desafios relacionados ao baixo rendimento ou às propriedades tecnológicas menos atrativas em comparação aos resíduos cítricos e de maçã. (pt.cnadditives.com, 2024).

O aproveitamento desses resíduos caracteriza-se como estratégia fundamental no contexto da economia circular, pois contribui para a redução do impacto ambiental gerado pelo descarte inadequado e agrega valor a coprodutos das cadeias produtivas agrícola e industrial. A sustentabilidade da extração de pectina está intrinsecamente relacionada ao uso racional de recursos e à escolha de métodos que minimizem o consumo energético, a geração de efluentes e o uso de substâncias tóxicas em sua obtenção. (SCIELO, 2020; UTFPR, 2022).

Ainda nessa perspectiva, debates recentes destacam a relevância do desenvolvimento de novas tecnologias de extração, tais como processos assistidos por ultrassom, micro-ondas e uso de enzimas, os quais visam otimizar o rendimento e reduzir o impacto ambiental associado à

produção. Dessa maneira, a extração de pectina de resíduos industriais deve ser compreendida como uma solução sustentável, economicamente viável e alinhada aos princípios das modernas cadeias agroindustriais. (pt.cnadditives.com, 2024).

4. Principais Fontes de Extração da Pectina

A compreensão das principais fontes de extração da pectina é fundamental não apenas para o desenvolvimento de produtos industriais, mas também para a proposição de tecnologias sustentáveis na cadeia produtiva de alimentos e derivados. Tradicionalmente, a extração comercial da pectina está centrada, predominantemente, no aproveitamento de resíduos agroindustriais resultantes do processamento de frutas cítricas e do bagaço de maçã. Estas matérias-primas configuram-se como as mais relevantes devido à elevada concentração de pectina presente em suas cascas e polpa, bem como pelo volume expressivo de resíduos gerados mundialmente. (SCIELO, 2020; UTFPR, 2022).

No caso das frutas cítricas, a pectina encontra-se principalmente na albedo, a camada branca interna da casca. Após o processamento industrial para produção de sucos, grande parte deste material é descartada, o que possibilita seu aproveitamento para a extração da pectina. Estima-se que o teor de pectina possa alcançar valores superiores a 20% em base seca na casca de determinadas frutas cítricas. O bagaço de maçã, por sua vez, advém da indústria de sucos e polpas e é constituído por cascas, polpa e sementes, apresentando teores de pectina que variam conforme a variedade da fruta e fatores agrônômicos, usualmente entre 10% e 15% na matéria seca.

Além das fontes clássicas, há buscas contínuas por alternativas vegetais capazes de suprir a demanda crescente do mercado, promover a diversificação regional de matérias-primas e potencializar o reaproveitamento de resíduos. Dentre essas alternativas, destaca-se a polpa de beterraba sacarina, cujo conteúdo de pectina tem sido explorado especialmente em países com forte indústria sucroalcooleira, devido ao seu alto teor de sacarose, que proporciona a síntese de produtos de baixo grau de metoxilação. Outras possibilidades incluem resíduos de plantas como o capítulo de girassol, bagaço de maracujá, bagas como framboesas e amoras, além de manga e manga-espada, especialmente usadas em estudos regionais e laboratórios de inovação tecnológica. (pt.cnadditives.com, 2024; FUNCIONAIS NUTRACÊUTICOS, 2023).

A escolha da matéria-prima exerce influência direta não apenas sobre o rendimento, mas também sobre a qualidade funcional e tecnológica da pectina extraída. Aspectos como massa molar média, grau de esterificação e a presença de açúcares neutros são decisivos para determinar a aplicação industrial, sua capacidade gelificante, estabilidade em diferentes pH e solubilidade. (SCIELO, 2020; UTFPR, 2022). Sabe-se, por exemplo, que a pectina proveniente das cascas de cítricos apresenta, tipicamente, maior grau de metoxilação do que aquela extraída do bagaço de maçã, o que favorece seu uso em produtos que demandam formação de gel sob

altos teores de açúcar e baixo pH.

Do ponto de vista quantitativo, revisão de estudos aponta que as cascas de laranja podem apresentar conteúdos de pectina superiores a 20% da matéria seca, enquanto bagaço de maçã dispõe, em média, de 10 a 15%. Já as fontes alternativas, como a beterraba sacarina e capítulos de girassol, apresentam teores mais baixos e, por vezes, maior variabilidade devido às diferenças varietais e ao método de pré-tratamento empregado. (pt.cnadditives.com, 2024; FUNCIONAIS NUTRACÊUTICOS, 2023).

A utilização de resíduos para a extração da pectina contribui de modo relevante para a sustentabilidade dos processos agroindustriais. Ao valorizar subprodutos que, de outro modo, seriam descartados, diminui-se o impacto ambiental do setor e potencializa-se a geração de valor econômico (FUNCIONAIS NUTRACÊUTICOS, 2023; SCIELO, 2020). Além disso, a busca por novas matrizes para extração tem sido impulsionada por avanços biotecnológicos e pela diversificação das técnicas de separação e purificação do polissacarídeo, o que poderá, em curto prazo, viabilizar economicamente o aproveitamento de espécies ainda pouco exploradas, tais como as frutas de caroço.

Em síntese, embora as fontes tradicionais — frutas cítricas e maçãs — se mantenham como vias predominantes para a extração comercial da pectina, as pesquisas voltadas ao aproveitamento de resíduos alternativos, bem como às melhorias nos processos, figuram como estratégias essenciais para ampliar o espectro de uso e garantir a sustentabilidade nas cadeias produtivas. (SCIELO, 2020; RI UNIR, 2024).

O domínio tecnológico das propriedades físico-químicas da pectina permite o seu emprego em diferentes setores, destacando-se não apenas pela versatilidade de aplicação como espessante, gelificante e estabilizante, mas também pelo fato de sua estrutura polimérica oferecer funcionalidade personalizada de acordo com a demanda industrial. Este conhecimento técnico embasa inovações em formulações alimentícias, cosméticos e produtos farmacêuticos, tornando a pectina uma biomolécula estratégica para o desenvolvimento de soluções sustentáveis. (Funcionais Nutracêuticos, 2023).

5. Propriedades Físicas e Químicas da Pectina

A pectina é um polissacarídeo de grande relevância tecnológica, cuja aplicação em diferentes setores industriais decorre de suas propriedades físicas e químicas particulares. Tais propriedades são fortemente influenciadas por fatores estruturais, como o grau de metoxilação, composição dos monossacarídeos constituintes, massa molar e presença de ramificações laterais. (SCIELO, 2020; IngredientFood, 2023).

A solubilidade em água é uma das características mais marcantes da pectina e depende, principalmente, do seu grau de metoxilação (DE). Pectinas com alto grau de metoxilação (superior a 50%) tendem a ser mais solúveis e gelificam de modo eficiente em presença de açúcares e baixos valores de pH, sendo amplamente empregadas em geleias e compotas. Por outro lado, pectinas com baixo grau de metoxilação gelificam na presença de íons cálcio, independentemente do teor de açúcar, permitindo sua aplicação em produtos lácteos e formulações dietéticas. (Paiva et al., 2019; IngredientFood, 2023).

A viscosidade das soluções de pectina é um atributo fundamental, particularmente na indústria alimentícia, pois determina a textura, estabilidade e composição dos produtos finais. Fatores como pH, temperatura, grau de polimerização e a presença de cátions, especialmente cálcio, afetam diretamente esta propriedade. (IngredientFood, 2023; SCIELO, 2020).

A capacidade de formação de géis é, sem dúvida, a propriedade física mais importante da pectina. Pectinas de alto teor de metoxilação requerem a presença simultânea de ácido e açúcar para gelificação, operando em faixas de pH entre 2,0 e 3,5. O mecanismo envolve a associação entre cadeias poliméricas, possibilitada pela redução das cargas negativas em meio ácido. Em contrapartida, a pectina de baixo teor de metoxilação (inferior a 50%) apresenta gelificação dependente da presença de íons divalentes, especialmente Ca^{2+} , formando zonas que estabilizam as redes de gel mesmo em baixos teores de sólidos solúveis. (SCIELO, 2020; IngredientFood, 2023).

O peso molecular da pectina também possui influência sobre sua viscosidade e capacidade de formação de gel. Massa molecular elevada está associada a géis mais firmes e viscosos, enquanto massas menores resultam em géis frágeis e soluções de menor consistência (Repositório UFSM, 2017). Métodos como a cromatografia de exclusão por tamanho (HPSEC), dispersão de luz a multiângulo (MALLS) e índice de refração diferencial (RI) são empregados para caracterizar o peso molecular e distribuição das cadeias, informações cruciais para controle de qualidade industrial (IngredientFood, 2023).

Outro aspecto fundamental reside na relação estrutural-funcional da pectina. As ramificações laterais, grau de acetilação e a composição dos monossacarídeos neutros modificam a solubilidade em água, reatividade com outros componentes da matriz alimentar, resistência à degradação e biodisponibilidade. A literatura recente aponta que tais características estruturais também modulam o potencial prebiótico da pectina, reforçando sua relevância em formulações funcionais e sustentáveis. (SCIELO, 2020; IngredientFood, 2023).

A sensibilidade da pectina ao pH é outra propriedade química distintiva. Pectinas de alto teor de metoxilação demonstram elevação da viscosidade com o aumento do pH, em decorrência da maior ionização dos grupos carboxila, promovendo repulsão eletrostática entre as cadeias poliméricas. Já as pectinas de baixo teor de metoxilação são menos sensíveis ao pH e mais responsivas à presença de cálcio. No contexto industrial e tecnológico, o entendimento dessas respostas permite customização de texturas e propriedades para diferentes mercados. (SCIELO, 2020; IngredientFood, 2023).

O controle preciso das propriedades físicas e químicas da pectina é, portanto, indispensável para garantir sua funcionalidade desejada em alimentos, fármacos, cosméticos e produtos biotecnológicos. Avanços nas metodologias analíticas e no entendimento da relação estrutura-função ampliam o espectro de aplicações para esta biomolécula, alinhando-a às demandas de inovação e sustentabilidade.

Entre os métodos de extração da pectina, destaca-se a extração ácida sob aquecimento, adotada amplamente no setor industrial devido à sua eficácia em solubilizar e recuperar o polissacarídeo a partir de diferentes materiais vegetais, especialmente resíduos de frutas cítricas. (UTFPR, 2022; SCIELO, 2020).

Nos últimos anos, avanços tecnológicos têm contribuído para o aprimoramento dos métodos tradicionais, tanto em termos de rendimento quanto de sustentabilidade ambiental. Entre os novos processos, destacam-se técnicas de extração assistida por campo elétrico moderado e alta pressão hidrostática, que visam melhorar a difusão da pectina, aumentar a eficiência da extração e reduzir o consumo de solventes e energia elétrica (AEB Group, 2024; Lume UFRGS, 2014). A aplicação de alta pressão hidrostática, por exemplo, permite o pré-tratamento do material vegetal, promovendo a desorganização estrutural das paredes celulares e facilitando a liberação do polissacarídeo nas etapas subsequentes.

A preocupação ambiental tem impulsionado o desenvolvimento de métodos de extração menos agressivos, buscando minimizar o uso de reagentes tóxicos e o descarte inadequado de

efluentes. Métodos inovadores, como a extração enzimática e o uso de micro-ondas, têm demonstrado potencial para produzir pectina de alta qualidade empregando menos água e reduzindo o impacto ambiental, além de contribuir para o aproveitamento de resíduos agroindustriais e redução do desperdício. (AEB Group, 2024; SCIELO, 2020).

Com isso em vista, os índices de rendimento, qualidade e sustentabilidade dos métodos de extração de pectina estão diretamente associados à escolha da técnica aplicada, às características da fonte vegetal e à condição experimental. Avanços recentes apontam para a necessidade de integração de tecnologia, racionalização de recursos e análise do ciclo de vida dos processos, de modo a consolidar a extração de pectina em uma abordagem mais sustentável e eficiente.

6. Métodos de Extração da Pectina

A extração da pectina é uma etapa crítica que determina não apenas o rendimento, mas também as características físico-químicas e a qualidade final do polissacarídeo. Diversos métodos são empregados, variando desde técnicas clássicas, como a extração ácida sob aquecimento, até abordagens inovadoras e mais sustentáveis, como os processos assistidos por ultrassom e micro-ondas, o uso de enzimas e a adoção de solventes verdes, como o etanol (UTFPR, 2022; UNICAMP, 2023)..

O método tradicional mais amplamente utilizado na indústria consiste na extração ácida, na qual a matéria-prima vegetal, tipicamente resíduos de frutas cítricas ou bagaço de maçã, é submetida à ação de soluções ácidas (normalmente ácido cítrico, clorídrico ou sulfúrico) em condições de aquecimento. O controle do pH (geralmente entre 1,0 e 3,0), da temperatura (60°C a 95°C) e do tempo de extração é fundamental para evitar a degradação da pectina, assegurando alto rendimento e qualidade do produto (UTFPR, 2022; Repositório UEL, 2021). Após a solubilização, a pectina é precipitada com etanol, lavada e seca, etapas essenciais para sua purificação e posterior aplicação tecnológica.

Em menor escala, também são descritos processos de extração alcalina, nos quais o uso de soluções básicas (como hidróxido de sódio) favorece a obtenção de pectinas de baixo grau de metoxilação. Entretanto, esta técnica pode promover alterações indesejadas na estrutura do polissacarídeo, impactando negativamente suas propriedades funcionais, o que limita sua adoção comercial. (UTFPR, 2022).

O uso do etanol na etapa de precipitação é estratégico, permitindo a separação seletiva da pectina em meio aquoso, além de contribuir para sua purificação. O etanol é o solvente preferencial, conciliando eficiência, custo e baixa toxicidade, e pode ser recuperado para reutilização industrial, agregando valor ao processo e menor impacto ambiental. (Cepein, 2021).

Nas últimas décadas, a busca por processos mais sustentáveis e eficientes impulsionou o desenvolvimento de métodos inovadores. Dentre as tecnologias emergentes, destaca-se a extração assistida por ultrassom, que utiliza ondas ultrassônicas para romper as paredes celulares, facilitando a liberação da pectina com redução significativa no tempo e no consumo energético. Estudos demonstram que o ultrassom pode aumentar o rendimento em até 50% em comparação com métodos convencionais, além de preservar melhor as propriedades funcionais da pectina. (UTFPR, 2022; Repositório UTFPR, 2022).

A extração assistida por micro-ondas é outro método promissor, empregando aquecimento rápido e uniforme da amostra vegetal. Essa tecnologia reduz o tempo de extração e minimiza a degradação térmica do polissacarídeo. Além disso, o uso de micro-ondas facilita a aplicação de solventes verdes, como água subcrítica, implicando em um menor impacto ambiental quando comparado a métodos tradicionais. (UNICAMP, 2023; UTFPR, 2022).

O emprego de enzimas específicas (como poligalacturonases) consiste em um avanço importante. A extração enzimática é reconhecida pela seletividade e suavidade das condições operacionais, promovendo menor degradação da molécula de pectina, menor geração de resíduos tóxicos e melhor preservação do grau de metoxilação. No entanto, o principal desafio reside nos custos das enzimas, que ainda podem inviabilizar a adoção em larga escala na indústria. (Cepein, 2021; Repositório UEL, 2021).

A escolha do método de extração deve considerar aspectos como a matéria-prima disponível, o perfil desejado do produto final (grau de metoxilação, massa molar, pureza), rendimento industrial, custo operacional e, crescentemente, o impacto ambiental do processo. Técnicas integradas, que combinam métodos físico-químicos e biotecnológicos, têm se mostrado mais eficazes, permitindo maior controle de parâmetros críticos e agregando valor ao produto, sem comprometer a sustentabilidade. (UNICAMP, 2023; UTFPR, 2022).

Em síntese, a evolução dos métodos de extração da pectina reflete não apenas a busca por eficiência e qualidade, mas também uma preocupação com a sustentabilidade. O emprego de tecnologias limpas e a valorização de resíduos agroindustriais são tendências fundamentais para o avanço do setor, alinhando a produção de pectina às exigências contemporâneas de responsabilidade ambiental e inovação. (UNICAMP, 2023; Repositório UTFPR, 2022).

O avanço do entendimento estrutural e funcional da pectina subsidia o desenvolvimento de aplicações tecnológicas cada vez mais inovadoras e alinhadas aos princípios da sustentabilidade e da saúde pública. As múltiplas propriedades físico-químicas da pectina, como a elevada capacidade de gelificação, espessamento e estabilização, são exploradas intensivamente em setores como o alimentício, farmacêutico, cosmético e na indústria de materiais. Tal versatilidade decorre da possibilidade de alterações intencionais na estrutura molecular do polissacarídeo, permitindo sua adaptação a diferentes demandas industriais. (IngredientFood, 2023; SCIELO, 2020).

7. Aplicações Tecnológicas da Pectina

A crescente busca por soluções sustentáveis e funcionais nos setores industriais tem impulsionado avanços significativos na aplicação tecnológica da pectina. O aproveitamento de suas propriedades físico-químicas, como gelificação, capacidade de formar filmes, biocompatibilidade e funcionalidade dietética, confere a esse polissacarídeo uma versatilidade que pode ir além da indústria alimentícia, estendendo-se a áreas como fármacos, cosméticos, embalagens, biotecnologia e materiais avançados. (SCIELO, 2020; Santos, 2020).

Na **indústria alimentícia**, a pectina consolidou-se como um dos principais aditivos naturais para formação de géis, sendo insumo estratégico em geleias, compotas, doces, confeitados e sobremesas à base de frutas. Sua atuação como espessante e estabilizante proporciona textura, viscosidade e estabilidade ao produto, essenciais para a experiência sensorial e conservação. Além disso, a utilização de pectina como substituto de gordura e agente redutor de açúcar em produtos "light" tem sido intensificada diante da demanda dos consumidores por alimentos mais saudáveis. Destaca-se ainda seu papel como fibra dietética solúvel, com impactos positivos sobre o metabolismo lipídico, glicêmico e funcionamento intestinal. (IngredientFood, 2023; AG Química, s.d.).

No **setor farmacêutico**, o desenvolvimento de formas farmacêuticas avançadas fundamenta-se na biocompatibilidade e capacidade gelificante da pectina, especialmente em sistemas de liberação controlada para fármacos. A estrutura molecular da pectina permite encapsulação, proteção e liberação gradativa de princípios ativos, destacando-se em microesferas, nanopartículas e cápsulas com propriedades mucoadesivas e gastroprotetoras. Aplicações relevantes incluem revestimento entérico para medicamentos orais, sistemas matriciais para liberação prolongada e formulações para tratamento de distúrbios intestinais, câncer de cólon e controle glicêmico. (Santos, 2020; Congresso Internacional de Saúde Única, 2022).

Na **indústria cosmética**, a pectina é utilizada como agente espessante, emulsificante e estabilizante em cremes, loções, géis e produtos para cuidados capilares e da pele. Sua característica de formar filmes e sua compatibilidade com outros biopolímeros permitem o desenvolvimento de formulações estáveis, com textura agradável e melhores propriedades de liberação de ativos, além de agregar atributos naturais e biodegradáveis às formulações. (Aditivos Ingredientes, 2024).

Destaca-se, também, a ascensão da pectina como **matéria-prima para embalagens biodegradáveis**, sobretudo filmes comestíveis, filmes protetores para frutas e vegetais, e novas

soluções em bioembalagens. Pectinas extraídas de resíduos cítricos incorporadas com nanopartículas metálicas, de zinco, têm sido pesquisadas para aprimorar propriedades mecânicas, barreira e atividade antimicrobiana, ampliando sua viabilidade industrial e ambiental. (Braskem, 2024).

Estratégias como o aproveitamento de resíduos do processamento de frutas, especialmente cítricos, deslocam a lógica tradicional do descarte para uma abordagem de ciclo fechado, em que rejeitos tornam-se insumos valiosos na cadeia produtiva e aumentando a sustentabilidade na produção. Tal reaproveitamento reduz significativamente a quantidade de resíduos sólidos encaminhados para aterros sanitários, promove a circularidade de materiais e amplia a eficiência do uso de recursos naturais.

No âmbito técnico, observa-se a incorporação de métodos considerados "verdes", como a extração assistida por ultrassom, micro-ondas e uso de ácidos e solventes de menor toxicidade, que contribuem para a minimização de resíduos tóxicos, redução do consumo de água e energia, e incremento nos índices de recuperação do polissacarídeo. Além disso, o emprego de ácidos orgânicos (ex.: cítrico, tartárico) e de enzimas, em substituição a ácidos minerais, possibilita processos mais seletivos e menos agressivos ao meio ambiente, sem comprometer o rendimento e a qualidade funcional da pectina. (AEB Group, 2024).

Outro aspecto relevante refere-se à valorização de espécies vegetais regionais e à descentralização da produção, que permitem reduzir o custo ambiental associado à logística e dependência de importações, além de fomentar redes locais de produção e agregar valor a resíduos que, por vezes, seriam descartados. (UTFPR, 2022).

Em síntese, o avanço das técnicas de extração sustentáveis, o aproveitamento integral de resíduos e a integração de tecnologias inovadoras atuam sinergicamente para consolidar a pectina como biopolímero essencial à economia. Isso, em acordo com a sustentabilidade e inovação, tende a expandir o espectro de aplicações da pectina, ao mesmo tempo em que contribui para a mitigação de impactos ambientais e promoção de cadeias produtivas mais eficientes. (Inova Unicamp, 2023).

8. Sustentabilidade na Produção e no Uso da Pectina

A crescente demanda por processos e produtos que atendam aos critérios de sustentabilidade reflete-se de modo emblemático na cadeia produtiva da pectina. O aproveitamento de resíduos agroindustriais, a adoção de métodos de extração ambientalmente responsáveis e a ampliação de ciclos produtivos baseados na economia circular constituem pilares fundamentais para minimizar impactos ambientais e agregar valor a insumos subutilizados, posicionando a pectina como um dos biopolímeros mais alinhados aos preceitos da bioeconomia contemporânea. (INOVA UNICAMP, 2023; FAPESP, 2023).

O conceito de sustentabilidade na produção de pectina fundamenta-se, principalmente, na reutilização de resíduos orgânicos provenientes do processamento de frutas, principalmente de cascas de laranja, limão e bagaço de maçã. Esta estratégia não apenas reduz significativamente o envio de resíduos aos aterros sanitários, mas também estimula uma abordagem de ciclo fechado, típica da economia circular, na qual subprodutos passam a ser considerados matérias-primas estratégicas (AEB GROUP, 2024; CETAJR, 2023). A valorização desses resíduos é respaldada pela disponibilidade desses materiais e pela viabilidade técnico-econômica de sua conversão em pectina de alta pureza, empregando, inclusive, rotas industriais inovadoras, como demonstram projetos-piloto implementados por universidades Brasileiras. (INOVA UNICAMP, 2023; FAPESP, 2023).

Em relação aos métodos produtivos, a transição para técnicas "verdes" é um diferencial para a sustentabilidade do setor. Técnicas como extração assistida por ultrassom ou micro-ondas, o uso de ácidos orgânicos (exemplo: cítrico ou tartárico), solventes menos agressivos e processos enzimáticos vêm obtendo destaque, pois promovem elevado rendimento, eficiência energética, menor consumo de água e significativa redução na geração de resíduos tóxicos. A extração enzimática, em especial, possibilita operar sob condições mais brandas, preservando melhor as propriedades físico-químicas do polissacarídeo e favorecendo sua aplicação na indústria alimentícia e farmacêutica. (AEB GROUP, 2024; UTFPR, 2022).

Além disso, a descentralização da produção e a utilização de espécies regionais de frutas contribuem para a redução dos custos ambientais de transporte e logística, além de fomentar cadeias produtivas locais e agregar valor a resíduos cuja destinação adequada frequentemente não ocorre. (CETAJR, 2023; REPOSITÓRIO UTFPR, 2022).

Outro fator relevante para a sustentabilidade do uso da pectina é sua aplicação em embalagens biodegradáveis e filmes comestíveis. O desenvolvimento de biopolímeros pautados

na pectina, em substituição aos plásticos convencionais, representa uma frente de inovação que contribui para a diminuição do acúmulo de resíduos plásticos em ecossistemas aquáticos e terrestres, promovendo também a redução de emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida desses produtos. (CETAJR, 2023; FAPESP, 2023).

No cenário regulatório, incentivos governamentais, normativas ambientais e a crescente pressão do consumidor por ingredientes naturais e processos limpos têm impulsionado investimentos em pesquisa, desenvolvimento e adoção de técnicas sustentáveis por parte da indústria. Empresas atentas à dinâmica do mercado já priorizam matérias-primas rastreáveis de baixo impacto ambiental e apostam em projetos de inovação conjunta junto a universidades e centros tecnológicos para tornar seus processos cada vez mais ecoeficientes. (INOVA UNICAMP, 2023; AEB GROUP, 2024).

Dessa forma, à medida que avança a integração de tecnologias limpas, aprimoram-se os índices de aproveitamento de resíduos, fortalecem-se os conceitos de economia circular e amplia-se o leque de aplicações sustentáveis da pectina. A consolidação desse biopolímero como fonte central da bioeconomia é dependente, sobretudo, da sinergia entre inovação tecnológica, responsabilidade ambiental e o papel de cada componente da cadeia produtiva, mostrando a pectina não só como um ingrediente funcional fundamental, mas também como fator relevante para a sustentabilidade agroindustrial do futuro.

9. Considerações Finais

Após a análise abrangente dos múltiplos aspectos relacionados à pectina, desde suas características estruturais, principais fontes, propriedades físico-químicas, métodos de extração, aplicações tecnológicas e impactos no contexto da sustentabilidade, é possível afirmar que este biopolímero ocupa posição estratégica na transição para cadeias produtivas mais sustentáveis e inovadoras.

A pectina evidencia notável versatilidade funcional, sendo insumo fundamental principalmente nos setores alimentício, farmacêutico, cosmético e de materiais biodegradáveis, em virtude de suas propriedades gelificantes, estabilizantes e prebióticas. O fato da pectina poder ser obtida a partir de resíduos agroindustriais, como cascas de frutas cítricas e bagaço de maçã, promovendo o reaproveitamento de subprodutos, é extremamente relevante tanto para a economia como forma para a redução do impacto ambiental do setor agroindustrial. (Ciencialatina, 2022; UTFPR, 2022).

O avanço de técnicas analíticas e de métodos inovadores de extração, como processos enzimáticos e assistidos por ultrassom e micro-ondas, tem ampliado a eficiência e sustentabilidade da produção de pectina, além de favorecer a obtenção de produtos de maior pureza e uniformidade funcional. No entanto, persiste o desafio de mitigar resíduos e efluentes poluentes, notadamente quando empregadas rotas químicas tradicionais, ressaltando-se a necessidade contínua de métodos mais limpos e seletivos. (Ciencialatina, 2022; UTFPR, 2022).

No cenário industrial e ambiental, a pectina encontra-se plenamente inserida nos paradigmas da bioeconomia e da economia circular. O seu aproveitamento contribui para valorizar resíduos, gerar novas cadeias de valor e fomentar inovações em embalagens biodegradáveis, filmes comestíveis e sistemas inteligentes de liberação de fármacos e nutrientes. (Tuasaude, 2024; IngredientFood, 2023).

Entretanto, para que a produção e aplicação da pectina possam atingir todo seu potencial transformador, ainda é necessário o foco em pesquisa, desenvolvimento e inovação. Destaca-se a importância da padronização de parâmetros como teor de esterificação e massa molar, maior rastreabilidade e controle de qualidade, bem como incentivos ao uso de matérias-primas regionais e ao desenvolvimento de processos industriais adaptados às diferentes realidades econômicas e ambientais. (Integra IFTM, 2024; ABQ, 2024).

Visando cenários futuros, o contínuo avanço dos processos em conjunto com a

expansão do mercado de biopolímeros e o crescente interesse por soluções naturais e sustentáveis deverão posicionar a pectina no centro das estratégias de desenvolvimento de novos materiais, embalagens ecológicas e ingredientes funcionais.

Portanto, conclui-se que a pectina reúne atributos científico-tecnológicos e ambientais que a tornam peça-chave para iniciativas de sustentabilidade, inovação industrial e promoção da saúde, configurando-se como um dos biopolímeros mais promissores para o futuro das cadeias produtivas aliadas à bioeconomia circular.

As perspectivas de aplicação sustentável da pectina vêm sendo ampliadas pela incorporação de tendências tecnológicas voltadas à produção eficiente e uso de biotecnologia avançada. Uma das principais demandas do setor atual é a otimização dos processos de extração para garantir menor uso de agentes tóxicos e maior viabilidade econômica, mantendo a qualidade funcional do biopolímero. (AEB Group, 2024; Editverse, 2024).

A biotecnologia desponta como aliada fundamental ao viabilizar rotas produtivas inovadoras que integram a utilização de enzimas específicas na despolimerização e modulação da estrutura da pectina. Tais abordagens permitem o desenvolvimento de materiais personalizados, com propriedades adaptadas às exigências de setores como a indústria de embalagens biodegradáveis e bioplásticos. A combinação de pectina com fibras vegetais, a exemplo da fibra de coco, tem se mostrado promissora para aprimorar as características mecânicas e a estabilidade de biocompósitos, expandindo o leque de aplicações para além do setor alimentício. (RIC CPS, 2024).

Entre os desafios atuais, sobressai a necessidade de avançar em processos industriais escalonáveis e economicamente viáveis, que utilizem integralmente os resíduos das cadeias agroindustriais. Faz-se necessária a intensificação da pesquisa para padronização de parâmetros de qualidade, rastreabilidade e maior integração entre academia e indústria, sobretudo para maximizar a economia circular e reduzir custos produtivos. A utilização de tecnologias sustentáveis é elemento-chave para viabilizar o protagonismo da pectina como matéria-prima estratégica diante da crescente demanda por soluções ambientalmente responsáveis.

Por fim, destaca-se que a expansão do uso da pectina em bioplásticos e embalagens de nova geração configura uma tendência consolidada, especialmente no contexto global da transição ecológica. O aproveitamento de resíduos cítricos, aliado ao desenvolvimento de métodos verdes de extração e à aplicação de conhecimento biotecnológico no desenho de materiais inteligentes, tende a impulsionar a pectina para o centro da bioeconomia sustentável nas

próximas décadas. (Editverse, 2024; Cariny Polesca, 2021).

10.Referências Bibliográficas

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM). *Pectina: Propriedades, Métodos de Extração e Aplicações*. 2017.

SCIELO. *Caracterização estrutural da pectina e suas propriedades físico-químicas*. 2020.

INGREDIENTFOOD. *Physical and chemical properties of pectin*. 2023.

BDTD. *Pectina de resíduos agroindustriais: extração e aplicações tecnológicas*. 2022.

FUNCIONAIS NUTRACÊUTICOS. *Pectinas: origem, características e aplicação industrial*. 2023. Disponível em: <<https://funcionaisnutraceuticos.com/artigos/todos/pectinas-origem-caracteristicas-e-aplicacao-industrial>>. Acesso em: 15 maio 2025.

INFOPEDIA. *Pectina*. 2024. Disponível em: <[https://www.infopedia.pt/artigos/\\$pectina](https://www.infopedia.pt/artigos/$pectina)>. Acesso em: 15 maio 2025.

ÍNDICE. *Pectina: informação geral*. 2024. Disponível em: <<https://www.indice.eu/pt/medicamentos/DCI/pectina/informacao-geral>>. Acesso em: 15 maio 2025.

WIKIPEDIA. *Pectina*. 2024. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Pectina>>. Acesso em: 15 maio 2025.

WILLATS, W. G. T.; KNOX, J. P.; MIKKELSEN, J. D. *Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel*. Trends in Food Science & Technology, v. 17, n. 3, p. 97-104, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224405002342>>. Acesso em: 15 maio 2025.

INFOESCOLA. *Pectina*. 2024. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/bioquimica/pectina/>>. Acesso em: 15 maio 2025.

TODA MATÉRIA. *Polissacarídeos*. 2024. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/polissacarideos/>>. Acesso em: 15 maio 2025.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR). *Pectinas: Estrutura e Aplicações*. 2022. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/download/15072/pdf>>. Acesso em: 15 maio 2025.

INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE (IFC). *Avaliação estrutural da pectina extraída de resíduos vegetais*. 2023. Disponível em: <<https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/fecitac/article/view/4408>>. Acesso em: 15 maio 2025.

WILLATS, W. G. T.; KNOX, J. P.; MIKKELSEN, J. D. *Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel*. Trends in Food Science & Technology, v. 17, n. 3, p. 97-104, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224405002342>>. Acesso em: 18 maio 2025.

SCIELO. *Síntese, estrutura e aplicações de polissacarídeos: o caso das pectinas*. 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/po/a/xFQbJ6HR3QrCpL6dT9PbVrz/>>. Acesso em: 18 maio 2025.

2025.

PT.CNADDITIVES. *Pectin: types, benefits and uses*. 2024. Disponível em: <<https://pt.cnadditives.com/info/pectin-types-benefits-and-uses-91749210.html>>. Acesso em: 18 maio 2025.

RI UNIR. *Pectina: obtenção a partir de resíduos frutíferos e potencialidades*. 2024. Disponível em: <<https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3202>>. Acesso em: 18 maio 2025.

PT.CNADDITIVES. *A comprehensive guide to pectin in food*. 2024. Disponível em: <<https://pt.cnadditives.com/info/a-comprehensive-guide-to-pectin-in-food-101787846.html>>. Acesso em: 20 maio 2025.

FUNCIONAIS NUTRACÊUTICOS. *Pectinas: origem, características e aplicação industrial*. 2023. Disponível em: <<https://funcionaisnutraceuticos.com/artigos/todos/pectinas-origem-caracteristicas-e-aplicacao-industrial>>. Acesso em: 20 maio 2025.

PT.CNADDITIVES. *Pectin: types, benefits and uses*. 2024. Disponível em: <<https://pt.cnadditives.com/info/pectin-types-benefits-and-uses-91749210.html>>. Acesso em: 20 maio 2025.

RI UNIR. *Pectina: obtenção a partir de resíduos frutíferos e potencialidades*. 2024. Disponível em: <<https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3202>>. Acesso em: 20 maio 2025.

RVQ. *Pectinas: propriedades físico-químicas e aplicações industriais*. 2017. Disponível em: <<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/download/1357/787/8655>>. Acesso em: 20 maio 2025.

PAIVA, M. R. B. de; CIACCO, C. F.; PESSOA, J. D. C.; GOMES, M. E. O. *Pectinas: propriedades químicas e gelificação*. 2019. Disponível em: <<https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/07/2009-paiva.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2025.

SCIELO. *Síntese, estrutura e aplicações de polissacarídeos: o caso das pectinas*. 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/po/a/xFQbJ6HR3QrCpL6dT9PbVrz/>>. Acesso em: 21 maio 2025.

INGREDIENTFOOD. *Physical and chemical properties of pectin*. 2023. Disponível em: <<https://pt.ingredientfood.com/news/physical-and-chemical-properties-of-pectin-68357056.html>>. Acesso em: 21 maio 2025.

REPOSITÓRIO UFSM. *Pectina: propriedades, métodos de extração e aplicações*. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3416>>. Acesso em: 21 maio 2025.

AEB GROUP. *Como extrair a pectina de resíduos/desperdícios do processamento de frutas de forma sustentável*. 2024. Disponível em: <https://www.aeb-group.com/pt/como-extrair-a-pectina-de-residuos_desperdicios-do-processamento-de-frutas-de-forma-sustentavel>. Acesso em: 21 maio 2025.

LUME UFRGS. *Extração e caracterização de pectina obtida a partir do albedo de maracujá amarelo*. 2014. Disponível em:

<<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/131046/000979714.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2025.

UNICAMP. *Técnica extrai pectina da casca do maracujá com mais eficiência e sem solventes químicos*. 2023. Disponível em: <<https://unicamp.br/unicamp/noticias/2023/03/17/tecnica-extrai-pectina-da-casca-do-maracuja-com-mais-eficiencia-e-sem-solventes>>. Acesso em: 21 maio 2025.

CEPEIN. *Extração de pectina a partir de resíduos agroindustriais: aspectos técnicos e ambientais*. 2021. Disponível em: <<https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/1611430139.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2025.

REPOSITÓRIO UEL. *Métodos de obtenção e aplicações tecnológicas da pectina*. 2021. Disponível em: <<https://repositorio.uel.br/bitstreams/83594e07-a74a-4518-8301-e659294e48b5/download>>. Acesso em: 24 maio 2025.

REPOSITÓRIO UTFPR. *Extração de pectina do mamão formosa: métodos e parâmetros de otimização*. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24357/1/extracaopectinamamaoformosa.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2025.

INGREDIENTFOOD. *The main application of pectin in food industry*. 2023. Disponível em: <<https://pt.ingredientfood.com/news/the-main-application-of-pectin-in-food-industr-82860053.html>>. Acesso em: 24 maio 2025.

ADITIVOS INGREDIENTES. *Pectinas: origem, características e aplicação industrial*. 2024. Disponível em: <<https://aditivosingredientes.com/artigos/ingredientes-funcionais/pectinas-origem-caracteristicas-e-aplicacao-industrial>>. Acesso em: 08 maio 2025.

PLANT BASED FOODS. *Pectinas: propriedades funcionais e aplicações*. 2024. Disponível em: <<https://plantbasedfoods.com.br/artigos/todos/pectinas-propriedades-funcionais-e-aplicacoes>>. Acesso em: 08 maio 2025.

SANTOS, J. *Bioembalagens de Pectina Cítrica Incorporadas com Nanopartículas de Zinco*. 2020. Instituto Federal Goiano. Disponível em: <https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_11/2021-06-14-10-16-46Disserta%C3%A7%C3%A3o-Joelma.pdf>. Acesso em: 08 maio 2025.

AG QUÍMICA. *Pectina*. s.d. Disponível em: <<https://agquimica.com.br/pectina/>>. Acesso em: 08 maio 2025.

CONGRESSO INTERNACIONAL DE SAÚDE ÚNICA (INTERFACE). *Aplicabilidade Biotecnológica de Pectina: Uma Revisão Integrativa*. 2022. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/ebook/icidsuim20221/459981-aplicabilidade-biotecnologica-de-pectina-uma-revisao-integrativa>>. Acesso em: 08 maio 2025.

BRASKEM. *Plástico verde da Braskem chega às embalagens de cosméticos naturais e veganos*. 2024. Disponível em: <<https://www.braskem.com/detalhe-noticia/plastico-verde-da-braskem-chega-as-embalagens-de-cosmeticos-naturais-e-veganos>>. Acesso em: 08 maio 2025.

INOVA UNICAMP. *Xilo-laranja: tecnologia para obtenção de pectina de resíduos cítricos*. 2023. Disponível em: <https://tecnologias.inova.unicamp.br/tecnologia/1783_xilo_laranja/>. Acesso em: 08 maio 2025.

AEB GROUP. *Como extrair a pectina de resíduos/desperdícios do processamento de frutas de forma sustentável*. 2024. Disponível em: <https://www.aeb-group.com/br/como-extrair-a-pectina-de-residuos_desperdicios-do-processamento-de-frutas-de-forma-sustentavel>. Acesso em: 08 maio 2025.

CETAJR CONSULTORIA. *Pectina: geleias mais naturais e sustentáveis*. 2023. Disponível em: <<https://www.cetajrconsultoria.com/pectina-geleias-mais-naturais-e-sustentaveis/>>. Acesso em: 08 maio 2025.

FAPESP. *Tecnologia criada na Unicamp agrega valor às cascas de laranja*. 2023. Disponível em: <<https://agencia.fapesp.br/tecnologia-criada-na-unicamp-agrega-valor-as-cascas-de-laranja/41121>>. Acesso em: 09 maio 2025.

INOVA UNICAMP. *Xilo-laranja: tecnologia para obtenção de pectina de resíduos cítricos*. 2023. Disponível em: <https://tecnologias.inova.unicamp.br/tecnologia/1783_xilo_laranja/>. Acesso em: 09 maio 2025.

AEB GROUP. *Como extrair a pectina de resíduos/desperdícios do processamento de frutas de forma sustentável*. 2024. Disponível em: <https://www.aeb-group.com/br/como-extrair-a-pectina-de-residuos_desperdicios-do-processamento-de-frutas-de-forma-sustentavel>. Acesso em: 09 maio 2025.

CETAJR CONSULTORIA. *Pectina: geleias mais naturais e sustentáveis*. 2023. Disponível em: <<https://www.cetajrconsultoria.com/pectina-geleias-mais-naturais-e-sustentaveis/>>. Acesso em: 07 maio 2025.

REPOSITÓRIO UTFPR. *Extração de pectina do mamão formosa: métodos e parâmetros de otimização*. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24357/1/extracaopectinamamaoformosa.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2025.

FAPESP. *Tecnologia criada na Unicamp agrega valor às cascas de laranja*. 2023. Disponível em: <<https://agencia.fapesp.br/tecnologia-criada-na-unicamp-agrega-valor-as-cascas-de-laranja/41121>>. Acesso em: 07 maio 2025.

EDITVERSE. *Conheça o material: pectina além das aplicações alimentícias na medicina e na indústria*. 2024. Disponível em: <<https://www.editverse.com/pt/conhe%C3%A7a-o-material-pectina-al%C3%A9m-das-aplica%C3%A7%C3%B5es-aliment%C3%ADcias-na-medicina-e-na-ind%C3%BAstria/>>. Acesso em: 07 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE QUÍMICA (ABQ). *Pectina: desafios e perspectivas para aplicações sustentáveis*. 2024. Disponível em: <<https://www.abq.org.br/cbq/trabalhos/1/A1T26341-1727723763.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2025.

ARANDANET. *Pesquisa visa desenvolver embalagens a partir do albedo da casca da laranja*. 2024. Disponível em: <https://www.arandanet.com.br/revista/pi/artigo_tecnico/274-Pesquisa-visa-desenvolver-embalagens-a-partir-do-albedo-da-casca-da-laranja.html>. Acesso em: 07 maio 2025.

REMAR. *Pectina: biopolímero sustentável e seus impactos*. 2024. Disponível em: <<https://remap.revistas.ufcg.edu.br/index.php/remap/article/download/222/204>>. Acesso em: 07 maio 2025.

RIC CPS. *Pectina sustentável: produção e impacto ambiental*. 2024. Disponível em: <<https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/16810>>. Acesso em: 07 maio 2025.

CIENCIALATINA. *Pectina: potencial biotecnológico, perspectivas industriais e aplicações sustentáveis*. 2022. Disponível em: <<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/3498>>. Acesso em: 02 maio 2025.

TUASAÚDE. *Pectinas: benefícios para a saúde e aplicações alimentares*. 2024. Disponível em: <<https://www.tuasaude.com/pectinas/>>. Acesso em: 02 maio 2025.

INTEGRA IFTM. *Pectina: extração, propriedades e aplicações*. 2024. Disponível em: <<https://integra.iftm.edu.br/busca/pectina>>. Acesso em: 02 maio 2025.

EDITVERSE. *Conheça o material: pectina além das aplicações alimentícias na medicina e na indústria*. 2024. Disponível em: <<https://www.editverse.com/pt/conhe%C3%A7a-o-material-pectinal%C3%A9m-das-aplica%C3%A7%C3%B5es-aliment%C3%ADcias-na-medicina-e-na-ind%C3%BAstria/>>. Acesso em: 02 maio 2025.

AEB GROUP. *Como extrair a pectina de resíduos/desperdícios do processamento de frutas de forma sustentável*. 2024. Disponível em: <https://www.aeb-group.com/pt/como-extrair-a-pectina-de-residuos_desperdicios-do-processamento-de-frutas-de-forma-sustentavel>. Acesso em: 02 maio 2025.

RIC CPS. *Desenvolvimento de bioplástico a partir da pectina extraída do bagaço do limão Tahiti (Citrus latifolia) com adição de fibra de coco*. 2024. Disponível em: <[http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/30047/1/DESENVOLVIMENTO%20DE%20BIOPL%C3%81STICO%20A%20PARTIR%20DA%20PECTINA%20EXTRA%C3%8DDA%20DO%20BAGA%C3%87O%20DO%20LIM%C3%83O%20TAHITI%20\(Citrus%20latifolia\)%20COM%20ADI%C3%87%C3%83O%20DE%20FIBRA%20DE%20COCO.pdf](http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/30047/1/DESENVOLVIMENTO%20DE%20BIOPL%C3%81STICO%20A%20PARTIR%20DA%20PECTINA%20EXTRA%C3%8DDA%20DO%20BAGA%C3%87O%20DO%20LIM%C3%83O%20TAHITI%20(Citrus%20latifolia)%20COM%20ADI%C3%87%C3%83O%20DE%20FIBRA%20DE%20COCO.pdf)>. Acesso em: 02 maio 2025.

POLESCA, C. *Obtenção e caracterização de pectina a partir do resíduo agroindustrial da polpa de acerola*. 2021. Disponível em: <https://ppgenq.ufv.br/wp-content/uploads/2021/05/Dissertacao.CarinyPolesca.PPG_.pdf>. Acesso em: 02 maio 2025.