

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
Faculdade de Tecnologia de Mauá
Curso Superior de Tecnologia em Polímeros

Giovanna de Paula Barboza
Natalia Caroline Batista de Barros
Nataly Vasconcelos

Condições de solubilidade de revestimentos de blendas bio-híbridas – amido/pectina
para aplicação potencial na área farmacêutica

Mauá
2025

Giovanna de Paula Barboza
Natalia Caroline Batista de Barros
Nataly Vasconcelos

Condições de solubilidade de revestimentos de blendas bio-híbridas – amido/pectina
para aplicação potencial na área farmacêutica

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Mauá, como exigência
parcial para obtenção do título de
Tecnólogo em Polímeros, sob a
orientação do professor Anderson Maia.

Mauá
2025

Autorizo a reprodução e a divulgação deste trabalho, no todo ou em parte, por qualquer meio convencional ou eletrônico, exclusivamente para fins de estudo e pesquisa, desde que a fonte seja citada.

Catálogo-na-Publicação – Biblioteca Fatec Mauá

668.423

B239c Barboza, Giovanna de Paula.

Condições de solubilidade de revestimentos de blendas bio-híbridas – amido/pectina para aplicação potencial na área farmacêutica / Giovanna de Paula Barboza, Natalia Caroline Batista de Barros, Nataly Vasconcelos – 2025.

38 p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Maia.

Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Polímeros) – Faculdade de Tecnologia de Mauá.

Referências: p. 35-38.

1. Pectina. 2. Amido. 3. Blendas hidrofílicas. 4. Solubilidade. 5. Biomateriais. I. Barros, Natalia Caroline Batista de. II. Vasconcelos, Nataly. III. Maia, Anderson. IV. Título.

CDD 23. : Termoplásticos 668.423
Elaborada por Tatiana Sambinelli CRB-8 SP-011003/O

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Mauá, como exigência
parcial para obtenção do título de
Tecnólogo em Polímeros

Aprovação em: 01/12/2025

Banca examinadora ou pareceristas:

Prof. Anderson Maia
Orientador
FATEC Mauá

Prof.(a) Dra. Rondes Ferreira da Silva Torin
Avaliador
FATEC Mauá

Prof.(a) Msc. Gleisa Pitareli
Avaliador
FATEC Mauá

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a força espiritual que nos rege e que nos acompanhou durante esta caminhada, sustentando-nos com sabedoria, coragem e serenidade para enfrentar cada etapa deste desafio.

Às nossas famílias, registramos nossa mais profunda gratidão, foram elas que, com amor incondicional, apoio constante e dedicação diária, nos deram estrutura e motivação para seguir adiante. Aos nossos companheiros, agradecemos por cada gesto de amor, paciência, incentivo e compreensão ao longo dos momentos intensos da vida acadêmica, vocês tornaram essa trajetória mais leve e possível.

Manifestamos também nosso sincero reconhecimento ao professor orientador, Anderson Maia, por ter confiado em nosso grupo e aceitado conduzir este trabalho mesmo com o prazo reduzido, oferecendo suporte e direcionamento fundamentais.

Por fim, agradecemos aos docentes do curso de Tecnologia em Polímeros, cujos ensinamentos, experiências e dedicação foram essenciais para nossa formação e para tudo o que levamos desta jornada.

RESUMO

Este estudo investigou as condições de sintetização, solubilidade e o comportamento estrutural de blendas hidrofílicas formadas pela combinação entre pectina extraída de maçã, mamão e maracujá, amido de milho, e colágeno parcialmente hidrolisado (gelatina), materiais naturais amplamente utilizados na formulação de biomateriais devido à sua biodegradabilidade, biocompatibilidade e afinidade com sistemas aquosos. O objetivo central foi avaliar como diferentes fontes de pectina e proporções poliméricas influenciam a formação, estabilidade física e resposta em meio aquoso, apresentado em diferentes temperaturas, dessas blendas, considerando um potencial para aplicação em sistemas farmacêuticos, especialmente em matrizes biodegradáveis e plataformas de liberação controlada de fármacos. A metodologia incluiu a extração térmica das pectinas, padronização da adição de gelatina como agente estruturante, preparo de formulações em diferentes proporções de pectina/amido e produção de filmes para avaliação comparativa. As amostras foram analisadas quanto à homogeneidade, viscosidade, integridade mecânica inicial, secagem, formação de gel e solubilidade, permitindo observar variações diretamente relacionadas à composição e à origem botânica das pectinas. Os resultados demonstraram que algumas formulações exibiram maior estabilidade estrutural, melhor coesão e dissolução mais controlada, indicando desempenho superior para aplicações em sistemas hidrofílicos de interesse farmacêutico. Conclui-se que a associação entre pectina e amido constitui uma rota promissora para o desenvolvimento de blendas hidrofílicas funcionais, sustentáveis, sintetização de baixa complexidade e de baixo custo, evidenciando a importância de biopolímeros naturais como alternativas tecnológicas em pesquisas voltadas à inovação biomédica. Palavras-chave: pectina; amido; blendas hidrofílicas; solubilidade; biomateriais; maçã; mamão; maracujá; colágeno; gelatina; biomedicina.

ABSTRACT

This study investigated the synthesis conditions, solubility, and structural behavior of hydrophilic blends formed by combining pectin extracted from apple, papaya, and passion fruit, corn starch, and partially hydrolyzed collagen (gelatin), natural materials widely used in the formulation of biomaterials due to their biodegradability, biocompatibility, and affinity for aqueous systems. The central objective was to evaluate how different pectin sources and polymer ratios influence the formation, physical stability, and response in aqueous medium, presented at different temperatures, of these blends, considering their potential application in pharmaceutical systems, especially in biodegradable matrices and controlled drug delivery platforms. The methodology included the thermal extraction of pectins, standardization of gelatin addition as a structuring agent, preparation of formulations in different pectin/starch ratios, and film production for comparative evaluation. The samples were analyzed for homogeneity, viscosity, initial mechanical integrity, drying, gel formation, and solubility, allowing for the observation of variations directly related to the composition and botanical origin of the pectins. The results demonstrated that some formulations exhibited greater structural stability, better cohesion, and more controlled dissolution, indicating superior performance for applications in hydrophilic systems of pharmaceutical interest. It is concluded that the association between pectin and starch constitutes a promising route for the development of functional, sustainable, low-complexity synthesis, and low-cost hydrophilic blends, highlighting the importance of natural biopolymers as technological alternatives in research focused on biomedical innovation.

Keywords: pectin; starch; hydrophilic blends; solubility; biomaterials; apple; papaya; passion fruit; collagen; gelatina; biomedicine.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COOH – Grupo carboxila (ácido carboxílico)

OH – Grupo hidroxila

NH₂ – Grupo amino primário

CONH – Grupo amida (ligação peptídica parcial)

CONH₂ – Grupo amida (completo)

SO₃H – Grupo ácido sulfônico

pH – Potencial hidrogeniônico (medida da acidez ou basicidade)

(-OCH₃) – Grupo metóxi

HM – Alta Metoxilação (pectinas com alto grau de metoxilação)

LM – Baixa Metoxilação (pectinas com baixo grau de metoxilação)

DM – Grau de Metoxilação (percentual de grupos metoxila ligados à molécula)

KDa – Quilodalton (unidade de massa molecular, 1 kDa = 1000 daltons)

µm – Micrômetro (10⁻⁶ metros)

α – Alfa (primeira letra do alfabeto grego, usada para indicar posição ou tipo de ligação)

TPS – Amido Termoplástico (*Thermoplastic Starch*)

β-cariofileno – Sesquiterpeno presente em óleos essenciais (com propriedades anti-inflamatórias)

TNF-α – Fator de necrose tumoral alfa (citocina pró-inflamatória)

IL-6 – Interleucina 6 (citocina envolvida em resposta inflamatória)

G – Gramas (unidade de massa)

ml – Mililitros (unidade de medida de volume)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Problema de pesquisa	10
1.2	Objetivos	10
1.2.1	Objetivos específicos	10
1.3	Justificativa	11
1.4	Delimitação	11
1.5	Estruturação	12
2	DESENVOLVIMENTO	13
2.1	Referencial teórico	13
2.1.1	Biomaterial	13
2.1.2	Polímeros naturais	13
2.1.3	Blendas	14
2.1.4	Blendas hidrofílicas	15
2.1.5	Hidrogel	16
2.1.6	Classificação dos hidrogéis	16
2.1.7	Síntese de hidrogéis	17
2.1.8	Síntese de hidrogéis naturais	18
2.1.9	Aplicações de hidrogéis	18
2.1.10	Solubilidade de fármacos	19
2.1.11	Pectina	20
2.1.12	Pectina da maçã	20
2.1.13	Pectina do mamão	21
2.1.14	Pectina do maracujá	21
2.1.15	Amido	22
2.1.16	Óleo de cravo	24
2.1.17	Colágeno	24
2.2	Procedimentos metodológicos	26
2.2.1	Tipo de pesquisa	26
2.2.2	Materiais utilizados	26
2.2.3	Procedimentos experimentais	26

2.2.3.1	Extração da pectina do maracujá	27
2.2.3.2	Extração da pectina do mamão	27
2.2.3.3	Extração da pectina da maçã	28
2.2.4	Preparo da solução de amido	29
2.2.5	Preparação das amostras para análise	30
2.2.5.1	Teste de solubilidade.....	30
2.2.6	Local e período da pesquisa	31
2.2.7	Tratamento e análise dos dados.....	31
2.3	Análise de resultados	31
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, temos a utilização de produtos feitos a partir de polímeros sintéticos, cuja degradação é muito lenta e contribui com um alto acúmulo de resíduos e um impacto ambiental significativo. Diante deste cenário, a busca por materiais alternativos e que venham de origens naturais tornou-se prioridade tanto no meio científico quanto em setores industriais. Para isto temos polímeros de origens naturais que unem uma boa funcionalidade, sustentabilidade e segurança, principalmente quando se pensa na utilização da indústria de fármacos e biomédicos.

A pectina e o amido representam dois exemplos de biopolímeros com um maior destaque pois são extraídos de fontes naturais e com um custo menor para extração e produção deles. São extraídos de frutas como maçã, mamão e maracujá, a pectina apresenta uma excelente capacidade gelificante e elevada biocompatibilidade, muito abundante em resíduos orgânicos que, na sua grande maioria são descartados. O amido por sua vez, é amplamente disponível, com um baixo custo e apresenta boas propriedades estruturais que permite combinações com outros polímeros, formando materiais com uma maior estabilidade e versáteis.

Associando na forma de blendas hidrofílicas, estes biopolímeros podem trazer origem de hidrogéis e filmes capazes de atuar como revestimentos para sistemas farmacêuticos. A característica de hidrofobicidade dessas blendas é fundamental para processos de intumescimento, controle da solubilidade e com uma liberação gradual de compostos ativos, são fatores essenciais no desenvolvimento de tecnologias para aplicação em medicamentos. Porém, mesmo existindo estudos sobre a pectina e amido de uma forma isolada, ainda se tem uma necessidade de compreender, de uma maneira comparativa, como as diferentes fontes de pectina e diferentes proporções desses materiais pode influenciar o comportamento de solubilidades dos filmes produzidos.

Diante disso, este trabalho busca investigar a formação de revestimentos híbridos que sejam produzidos a partir da extração de três frutas que são amplamente consumidas no Brasil, maçã, mamão e maracujá, combinadas com amido de milho. A proposta surge para desenvolver alternativas sustentáveis e acessíveis, com capacidade de aprimorar sistemas farmacêuticos, ao mesmo tempo obtém-se um aproveitamento de matérias-primas naturais e com um baixo custo e alto potencial biotecnológico.

Com uma investigação das condições de solubilidade dessas formulações, pretende-se ter uma compreensão de quais combinações apresentam melhores resultados e quais delas oferecem um potencial real para aplicações futuras como em revestimentos de fármacos ou sistema de liberação controlada. Sendo assim este estudo contribui não apenas para o avanço acadêmico, mas também para uma visão mais sustentável e trazendo uma inovação sobre o uso de materiais com aplicações tecnológicas.

1.1 Problema de pesquisa

Mesmo com uma ampla disponibilidade de pectina e amido como biopolímeros naturais, ainda existem lacunas sobre diferentes fontes de pectina, especialmente as que têm origem de maçã, mamão e maracujá, se comportam quando combinadas ao amido na formação de blendas hidrofílicas. Dessa forma, o problema desta pesquisa pode ser assim definido:

Quais são as condições de solubilidade apresentadas por revestimentos híbridos de amido e pectina, sendo produzidos a partir de diferentes fontes naturais de pectina, e como as condições podem trazer uma influência para um potencial aplicação na área farmacêutica?

1.2 Objetivos

Desenvolver revestimentos farmacêuticos, mais especificamente hidrogéis híbridos, sintetizados a partir da extração da pectina de frutas comumente consumidas como a maçã, o mamão e o maracujá a fim de reduzir custos e otimizar processos de produção e digestão medicamentosa.

1.2.1 Objetivos específicos

- Extrair a pectina de fontes naturais, mais especificamente de frutas que possuem maior teor de fibras e consequentemente maior facilidade na formação de géis;
- Preparação de um hidrogel, com adição de amido para melhorar suas propriedades físicas e químicas;
- Avaliar por meio de testes se o produto possui condições físicas e químicas para ser utilizado em aplicações biomédicas;

- Comparar os resultados dos testes das diferentes fontes de onde foi extraída a pectina;
- Produzir blendas hidrofílicas a partir dos filmes elaborados com pectina extraída das frutas;

1.3 Justificativa

Existe uma crescente demanda para materiais biodegradáveis e biocompatíveis para desenvolver alternativas que substituam parcialmente ou totalmente os polímeros sintéticos utilizados para tecnologias farmacêuticas. Os biopolímeros estudados neste trabalho têm uma alta disponibilidade, baixo custo e podem ser obtidos a partir de resíduos orgânicos, fazendo com que o processo seja mais economicamente acessível e ambientalmente vantajoso.

Além disso, a capacidade de formar hidrogéis e filmes a partir de uma combinação de pectina e amido abre espaço para aplicação em revestimentos de cápsulas, liberação controlada de medicamentos e desenvolvimento de matrizes bioativas. A compreensão das condições de solubilidade dessas blendas é fundamental para a determinação da sua viabilidade nessas aplicações.

Desse modo, este estudo se justifica pelo seu potencial de inovação, pela contribuição para um uso sustentável de recursos naturais e por oferecer uma alternativa promissora para a indústria farmacêutica, integrando diversas áreas de ciência, tecnologia e responsabilidade ambiental.

1.4 Delimitação

Esta pesquisa limita-se ao estudo da extração de pectina de três diferentes frutas (maçã, maracujá e mamão) e preparação de filmes híbridos produzidos a partir da combinação entre pectina e amido de milho. As análises restringem-se à observação da formação dos filmes, o comportamento de solubilidade e suas características visuais, com a utilização de equipamentos básicos disponíveis em um ambiente adaptado.

As formulações foram preparadas em três proporções com porcentagens fixas (50/50, 75/25 e 25/75 de pectina/amido), sem realização de testes instrumentais avançados, como análises mecânicas, térmicas ou químicas. Assim, o estudo concentra-se em

avaliar, de uma maneira simples e comparativa, como as diferentes fontes de pectina influenciam as propriedades dos revestimentos formados.

1.5 Estruturação

O presente Trabalho de Conclusão de Curso está organizado em capítulos que seguem uma sequência lógica, trazendo uma compreensão clara do desenvolvimento da pesquisa e de seus resultados previstos. Sua estruturação compõe-se dos seguintes elementos:

Introdução: Apresenta o tema central do estudo, o contexto em que o trabalho está fundamentado, o problema de pesquisa, os objetivos estabelecidos, a justificativa para realização do trabalho e os limites adotados na condução da investigação.

Referencial Teórico: Traz conceitos, fundamentos científicos e informações técnicas relacionadas a biopolímeros naturais, blendas hidrofílicas, hidrogéis, pectina, amido e outros elementos essenciais à compreensão da temática abordada.

Metodologia: Descreve detalhadamente os procedimentos adotados no momento de realização da pesquisa, incluindo os materiais utilizados, as etapas do processo para extração de pectina, o preparo das soluções e das blendas, bem como os critérios que foram aplicados no momento de execução e análise dos resultados.

Análise e discussão dos resultados: Apresenta quais foram os dados obtidos durante o experimento, interpretando-os de forma comparativa e crítica, destacando o comportamento que as formulações obtiveram e relacionando-as com os conceitos previstos no referencial teórico.

Considerações finais: Traz as conclusões alcançadas, avaliando o atendimento dos objetivos pelos quais foram propostos, discutindo as contribuições do estudo, quais foram suas limitações e sugerindo perspectivas para futuras pesquisas.

2 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste trabalho busca apresentar os fundamentos teóricos e práticos relacionados à aplicação de polímeros naturais e hidrogéis na área farmacêutica, com foco em suas propriedades físico-químicas e potencial para sistemas de liberação controlada.

2.1 Referencial teórico

O referencial teórico oferece uma compreensão aprofundada sobre os princípios, classificações e aplicações dos hidrogéis na indústria farmacêutica. A escolha desse tema se justifica pela crescente utilização desses materiais, devido às suas propriedades únicas, como biocompatibilidade, capacidade de intumescimento e sensibilidade a estímulos externos.

2.1.1 Biomaterial

Biomateriais são substâncias ou a combinação de substâncias que podem ser sintéticas ou de origem natural, utilizados em curto ou longo período para o tratamento, aumento ou substituição de tecidos, órgãos ou funções do corpo humano (Rosiak; Yoshii, 1999).

Esses materiais precisam ser, obrigatoriamente, compatíveis com o corpo humano, para que não haja recusa do material que será implantado ou substituído. Cada um deles possui suas características e propriedades químicas, físicas e mecânicas únicas, por isso a análise das funções desejadas e a localização do material no organismo são de grande importância (Ratner *et al.*, 1996).

Os biomateriais que entram em contato com organismos vivos devem atender a requisitos dos seguintes grupos: não toxicidade, funcionalidade, esterilizabilidade e biocompatibilidade. (Szycher, M. *et al.*, 1991).

2.1.2 Polímeros naturais

Polímeros naturais são macromoléculas produzidas diretamente por organismos vivos, sem intervenção humana. São formados por unidades repetitivas (monômeros) por meio de polimerização por adição ou, mais frequentemente, por condensação, processo no qual normalmente ocorre liberação de água. (Thakur, 2021) Os polímeros naturais abrangem classes estruturais diversas, como os polissacarídeos

(celulose, amido, quitina, pectina, alginato, agarose), proteínas (colágeno, seda, queratina), elastômeros biológicos (borracha natural do látex) e ácidos nucleicos (Conde, 2011). Polímeros naturais possuem estruturas mais complexas e pesos moleculares relativamente elevados quando comparados aos polímeros sintéticos. Apresentam excelente biocompatibilidade, alta biodegradabilidade e menor estabilidade térmica, características que lhes conferem um perfil ecológico favorável. São geralmente solúveis ou dispersáveis em água, podendo atuar como agentes espessantes, emulsificantes, estabilizantes ou modificadores de superfície, entretanto, podem apresentar limitações, como maior sensibilidade a variações de pH e temperatura, risco de contaminação por agentes patogênicos e propriedades mecânicas inferiores às dos polímeros sintéticos.

O uso de polímeros naturais é amplo e diversificado, abrangendo setores como alimentício, cosmético, farmacêutico, biomédico, têxtil, fotográfico, agroquímico e petrolífero. São aplicados em papéis, pneus, filmes biodegradáveis, hidrocoloides funcionais e formulações estabilizantes. Na engenharia de tecidos, polímeros como colágeno, alginato, quitosana, seda e ácido hialurônico se destacam por promover adesão, proliferação celular e osteointegração, além de funcionarem como matrizes temporárias para regeneração tecidual. A presença de grupos funcionais ativos favorece interações moleculares com células e biomoléculas, impulsionando sua utilização em reconstituição de pele, cicatrização e reparo ósseo. (Thakur, 2021).

2.1.3 Blendas

O termo blenda polimérica é utilizado para descrever a mistura física de dois ou mais polímeros, sem reação química intencional entre os componentes (Luna *et al.*, 2015c). A combinação de dois polímeros pode gerar materiais com propriedades físico-químicas superiores às dos componentes isolados. Entretanto, o desempenho final da blenda depende diretamente da miscibilidade e da compatibilidade entre os polímeros, fatores essenciais para o desenvolvimento adequado da mistura (Luna *et al.*, 2015; Quental, 2010).

O método de preparação de uma blenda, tem influência considerável sobre as propriedades do novo material. Existem duas técnicas para a sua preparação: 1) mistura dos polímeros fundidos, em uma extrusora ou em um misturador de rolos. 2) dissolução dos polímeros em um solvente comum. O método da dissolução é

bastante empregado sempre que possível, quando se deseja preparar filmes, pois o solvente pode ser evaporado facilmente (Barcellos, 1998).

Blendas poliméricas podem ser miscíveis, imiscíveis ou parcialmente miscíveis. A sua miscibilidade irá depender da termodinâmica que duas macromoléculas podem ter quando a mistura chega ao nível molecular (Imre *et al.*, 2014). Quando falamos de miscibilidade, um dos fatores fundamentais é a natureza da termodinâmica, onde temos uma variação da energia livre de Gibbs da mistura, ΔG_m , é dada por:

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m$$

Onde: ΔH_m = variação molar da entalpia de mistura; ΔS_m = variação molar da entropia de mistura; T = temperatura absoluta.

A equação 1 permite três possibilidades aos sistemas poliméricos:

- $\Delta G_m > 0$, mistura imiscível e os polímeros estarão presentes em fases separadas.
- $\Delta G_m = 0$, o sistema está em equilíbrio.
- $\Delta G_m < 0$, mistura miscível e os polímeros estarão presentes em fases únicas (Zhikuan, 1987).

2.1.4 Blendas hidrofílicas

As blendas hidrofílicas são muito utilizadas quando precisa de uma maior degradação do material, uma liberação controlada de fármacos e para trazer uma melhora das propriedades mecânicas, onde pode-se ajustar de uma forma mais simples. Dentro deste contexto para uma formação das blendas, a característica hidrofílica é imprescindível por isso se torna necessário a utilização de polímeros hidrofílicos que apresentam grupos funcionais como hidroxilas, aminas e carboxilas, capazes de interagir fortemente com moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio, o que resulta em elevada absorção de umidade, intumescimento e solubilidade parcial ou total (Sabadini, 2015). Assim se um ou mais componentes presentes possuírem um caráter hidrofílico, o material apresentara uma maior molhabilidade e maior permeabilidade ao vapor d'água.

De acordo com Silva (2021), blendas hidrofílicas apresentam vantagens importantes, como melhor compatibilidade biológica, capacidade de intumescimento e maior velocidade de degradação em meio aquoso, sendo amplamente empregadas em filmes biodegradáveis, sistemas de liberação controlada e aplicações biomédicas.

2.1.5 Hidrogel

São redes poliméricas com caráter hidrofílicas, ou seja, absorvem água em quantidades variadas, podendo ser menor ou milhares de vezes maiores que seu peso secas, isso se dá pelo intercrossamento de moléculas (rede tridimensional), sua força de ligação e sua capacidade de resistir a forças mecânicas, que faz com que os hidrogéis se mantenham estáveis mesmo depois de grandes ou pequenas absorções de água, ou seja, os hidrogéis mantêm sua estrutura de rede mesmo inchado. Os grupos hidrofílicos, como COOH, OH, NH₂, CONH, CONH₂ e SO₃H, presentes na rede do gel são responsáveis pela absorção de água.

As características e a classificação desse hidrogéis, que possuem estrutura de rede tridimensional, dependem dos monômeros que o compõem, aspectos como o arranjo físico (Ratner; Hoffman, 1976, *apud* Madduma-Bandarage; Madihally, 2021) e a natureza são considerados para sintetizar os hidrogéis, sendo eles naturais ou de síntese induzida com polímeros e fortalecedores.

Esses hidrogéis podem receber duas denominações distintas, uma delas são os “géis permanentes” ou “químicos” quando “incham” / são reticulados de forma covalente, atingem o equilíbrio de inchaço que depende da interação polímero-água e da densidade de reticulação. Como também, podem ser denominados como “géis reversíveis” ou “físicos”, ao contrário dos químicos, suas redes são mantidas através de interações iônicas, ligações de hidrogênio ou interações hidrofóbicas, assim podendo ser interrompidas (Rosiak; Yoshii, 1999).

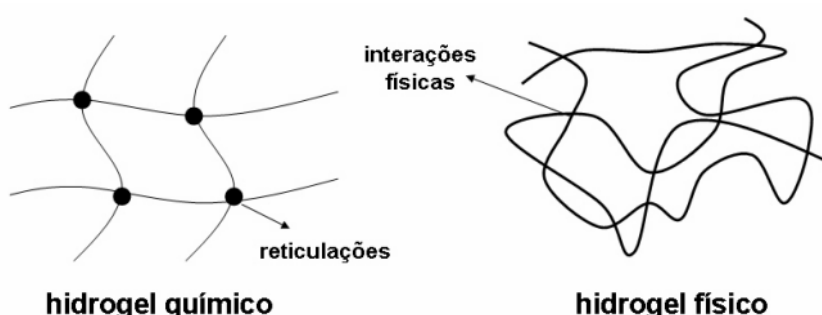
Os hidrogéis são excelentes exemplos de biomateriais, pois eles podem imitar o ambiente bifásico da água e o polímeros natural em sistemas biológicos (Ratner; Hoffman, 1976, *apud* Madduma-Bandarage; Madihally, 2021), mais especificamente na aplicação farmacêutica e biomédica.

2.1.6 Classificação dos hidrogéis

Os hidrogéis químicos desempenham papel importante em diversas aplicações, eles são quimicamente reforçados e entrecruzados, onde as ligações covalentes agem nas cadeias poliméricas individuais (reticulações), conferindo propriedades como resistência e maior absorção de água para esses materiais.

Por outro lado, os hidrogéis físicos são facilmente redissolvidos, quando se altera as condições climáticas do ambiente em que se encontram, como pH, força iônica, temperatura e natureza do solvente que ele entrará em contato (Unesp, 2020). São formados por interações como as ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas, forças de van der Waals e interações eletrostáticas (Bashir *et al.*, 2020), que são ligações facilmente reversíveis por ter caráter menos resistente. São úteis e essenciais para a aplicação farmacêutica pois possui características como biocompatibilidade e degradação controlada (Bashir *et al.*, 2020).

Figura 01 - estrutura química e física dos hidrogéis.



Fonte: Aouada e Mattoso, 2009.

2.1.7 Síntese de hidrogéis

A síntese do hidrogel, que é uma rede tridimensional reticulada, pode se dar considerando duas propriedades do material, as físicas e as químicas, na qual uma é considerada reversível e a outra não, podendo também haver uma mistura desses géis, formando assim os hidrogéis híbridos (Bashir *et al.*, 2020).

Os materiais sintetizados quimicamente são formados a partir de ligações entrecruzadas covalentemente, sendo irreversíveis. Seus principais métodos de fabricação incluem a polimerização por radicais livres, que utiliza agentes entrecruzantes juntamente com o polímero para conferir resistência e propriedades específicas de acordo com suas aplicações; as reações por condensação, onde os polímeros com grupos funcionais reativos formam redes por reações químicas diretas; e, por fim, as reações por radiação (UV, gama), que induzem o entrecruzamento dos polímeros escolhidos para síntese do hidrogel (Bashir *et al.*, 2020).

A natureza dos hidrogéis que servirão de revestimento para medicamentos e a indústria farmacêutica no geral é a física; os polímeros são fisicamente reticulados por meio de interações físicas. São normalmente preparados em meio aquoso e sem solventes orgânicos (Kaith *et al.*, 2021).

2.1.8 Síntese de hidrogéis naturais

Processo que utiliza o polímeros hidrofílicos advindos de fontes naturais, polímeros esses que apresentam grande afinidade por água e sua capacidade de se entrecruzarem fisicamente, ou seja, os polímeros naturais possuem facilidade de formar as redes tridimensionais de um hidrogel (Bashir *et al.*, 2020).

O processo mais comumente utilizado é a dissolução de polímeros hidrofílicos em meio aquoso, que após dissolvido passa por uma indução para seguinte formação dos géis, podendo ser por meios físicos ou químicos de maneira leve, podendo ser através da variação da temperatura, pH ou adição de íons. Tais interações conferem ao hidrogel reversibilidade e sensibilidade a estímulos (Kaith *et al.*, 2021).

2.1.9 Aplicações de hidrogéis

Na engenharia de tecidos, funcionam como andaimes (*scaffolds*) que favorecem o crescimento celular e a regeneração de tecidos ósseos, cutâneos e cartilagosos, podendo incorporar células-tronco e fatores de crescimento. (Lee; Hee Sook Hwang, 2023), Da mesma forma, nos sistemas de liberação controlada de medicamentos, permitem a liberação lenta e direcionada de fármacos em resposta a estímulos como pH, temperatura ou enzimas, sendo eficazes em tratamentos contra câncer, infecções e doenças crônicas. Em curativos e cicatrização de feridas, mantêm o ambiente úmido e promovem a regeneração da pele, podendo conter agentes antimicrobianos ou anti-inflamatórios. (Mali; Grossmann; Yamashita, 2010) (Lee; Hee Sook Hwang, 2023) Essa mesma propriedade de absorção e permeabilidade também justifica seu uso em lentes de contato e dispositivos oftálmicos, que exigem transparência e conforto ao usuário. Além disso, os hidrogéis injetáveis vêm sendo empregados na medicina regenerativa para o preenchimento de tecidos e liberação localizada de biomoléculas, enquanto os hidrogéis sensíveis a estímulos são aplicados em biossensores e dispositivos inteligentes capazes de monitorar parâmetros biológicos como pH e glicose. (Lee; Hee Sook Hwang, 2023), recentemente, esses materiais têm sido

explorados como suporte em terapias gênicas e vacinas, além de aplicações em implantes dentários, reconstrução nervosa e sistemas de hemostasia. Assim, devido à sua versatilidade e desempenho funcional, os hidrogéis se consolidam como uma das principais classes de biomateriais modernos, com grande potencial para o avanço de tratamentos e tecnologias médicas.

2.1.10 Solubilidade de fármacos

Os hidrogéis naturais, por possuírem propriedades que absorvem água, são capazes de dissolver ou diluir os fármacos com facilidade, favorecendo a formação de sistemas de liberação controlada (Rosiak; Yoshii, 1999). Essa característica é essencial para garantir que o princípio ativo seja disponibilizado de forma gradual, evitando picos de concentração que possam causar efeitos adversos (Caló; Khutoryanskiy, 2015). Além disso, a capacidade de intumescimento dos hidrogéis permite ajustar a taxa de liberação conforme a composição do material e as condições do meio, como pH e temperatura (Costa, 2013).

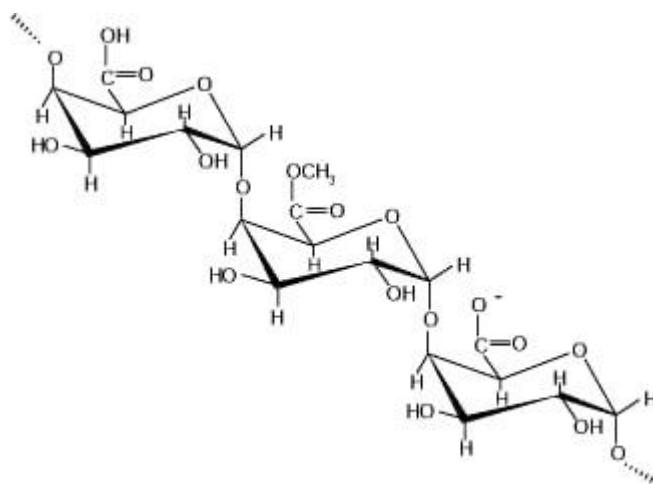
A solubilidade do fármaco, entretanto, não depende apenas da matriz polimérica, mas também da natureza química do composto. Fármacos hidrofílicos apresentam maior afinidade com hidrogéis ricos em grupos polares, enquanto moléculas lipofílicas exigem estratégias adicionais, como a incorporação de surfactantes ou a modificação química do polímero para aumentar a compatibilidade (Madduma-Bandarage; Madihally, 2021). Outro fator relevante é a polimorfia do fármaco, que pode alterar significativamente sua dissolução e, conseqüentemente, sua biodisponibilidade (Silva, 2020).

Para superar limitações de solubilidade, diversas abordagens têm sido estudadas, incluindo o uso de blendas poliméricas, nanocompósitos e técnicas de encapsulamento. Essas estratégias permitem controlar a porosidade, a hidrofiliicidade e a densidade da rede polimérica, otimizando a interação entre o fármaco e o meio aquoso (Martins; Migliorini; Corrêa, 2021). Dessa forma, compreender os mecanismos que regem a solubilidade é fundamental para o desenvolvimento de sistemas farmacêuticos eficazes e seguros.

2.1.11 Pectina

A pectina é uma fibra solúvel natural encontrada nas paredes celulares de frutas como maçã, mamão e maracujá, destacando-se por suas propriedades físico-químicas e biológicas promissoras para aplicações biomédicas e tecnológicas. (Leal, 2018) (Barbieri, 2023) (Canteri *et al.*, 2012) Suas principais características incluem a capacidade de formar géis, biocompatibilidade e bioatividade, permitindo seu uso em sistemas de liberação controlada de fármacos, biomateriais regenerativos, curativos, filmes bioativos e alimentos funcionais. (Barbieri, 2023) (Stephany *et al.*, 2025) (Canteri *et al.*, 2012) O desempenho da pectina depende de fatores como o grau de metoxilação e o peso molecular, que influenciam diretamente sua solubilidade, viscosidade e comportamento gelificante. (Stephany *et al.*, 2025) (Canteri *et al.*, 2012) O termo metoxilação refere-se à porcentagem de grupos metoxila ($-\text{OCH}_3$) presentes nas cadeias de ácido galacturônico que compõem a pectina. Pectinas de alta metoxilação (HM), com DM superior a 50%, formam géis na presença de açúcar e ácido, enquanto pectinas de baixa metoxilação (LM), com DM inferior a 50%, gelificam na presença de íons cálcio. (Souza, 2021) (Canteri *et al.*, 2012).

Figura 02 - Estrutura química da cadeia de pectina



Fonte: Cardoso, 2017

2.1.12 Pectina da maçã

A pectina da maçã é do tipo HM, com grau de metoxilação de 60–75% e peso molecular elevado (100–150 kDa). Suas propriedades permitem formação de géis em presença de açúcar e ácido, alta pureza, biocompatibilidade e estabilidade térmica.

Suas aplicações incluem sistemas de liberação controlada de fármacos, como micropartículas e hidrogéis que liberam substâncias ativas em ambientes ácidos; biomateriais regenerativos, como *scaffolds* para crescimento celular e curativos biodegradáveis; agentes hemostáticos e filmes bioativos que auxiliam na regeneração tecidual; além de veículos farmacêuticos em géis e filmes comestíveis. (Naqash *et al.*, 2021).

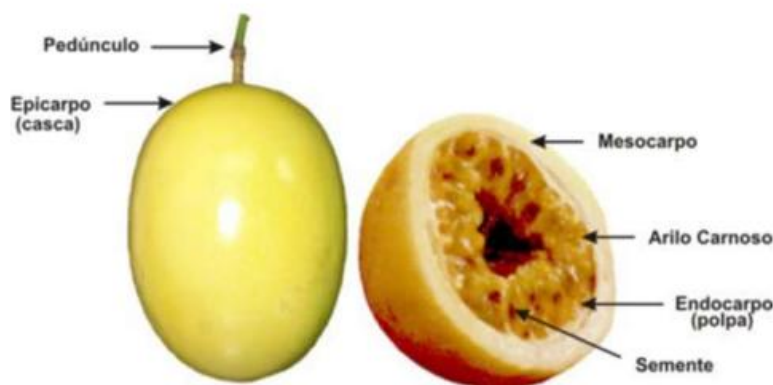
2.1.13 Pectina do mamão

A pectina do mamão apresenta baixa metoxilação (LM), com grau de 30–50% e peso molecular médio (60–100 kDa), formando géis na presença de íons cálcio sem necessidade de açúcar. Possui boa solubilidade, capacidade de absorção de água e efeito prebiótico. Suas aplicações incluem encapsulamento de compostos bioativos, como probióticos, vitaminas e antioxidantes, proteção de fármacos no trato gastrointestinal e sistemas de liberação entérico no cólon, formulações dietéticas e alimentos funcionais, além de curativos e filmes bioativos capazes de absorver exsudatos e atuar como barreira microbiana. (Guevara, 2020).

2.1.14 Pectina do maracujá

A pectina do maracujá, também de baixa metoxilação (LM), possui grau de metoxilação de 25–40% e peso molecular variável (50–120 kDa), sendo rica em compostos fenólicos que conferem elevada atividade antioxidante e boa adesividade biológica. Suas aplicações englobam a produção de filmes e membranas biodegradáveis para embalagens farmacêuticas e liberação tópica de compostos ativos, curativos cicatrizantes e antioxidantes que promovem regeneração tecidual e atividade antimicrobiana, sistemas de liberação controlada com cálcio que proporcionam degradação lenta e sustentada de fármacos ou nutrientes, e suplementos funcionais e nutracêuticos com potencial anti-inflamatório e hipocolesterolêmico. (Pinheiro, 2025) Dessa forma, a pectina se configura como um biopolímero versátil, cuja origem e características químicas determinam suas propriedades gelificantes, bioativas e funcionais, permitindo ampla aplicabilidade na indústria alimentícia, farmacêutica e biomédica.

Figura 03 - Partes constituintes do maracujá amarelo (*Passiflora edulis*)

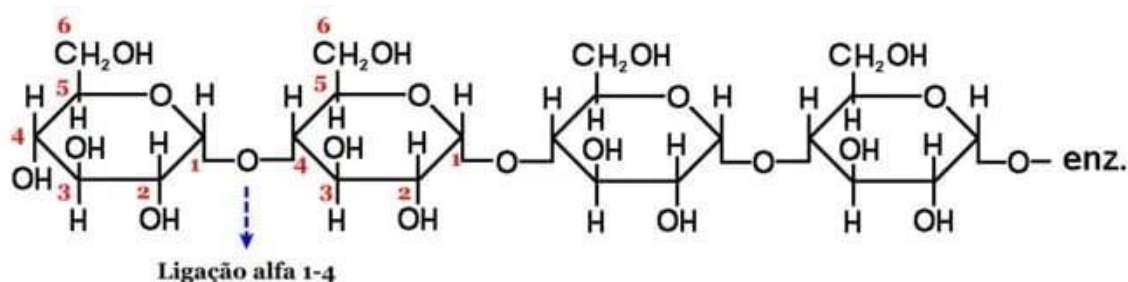


Fonte: Ministério da Integração Nacional, 2004

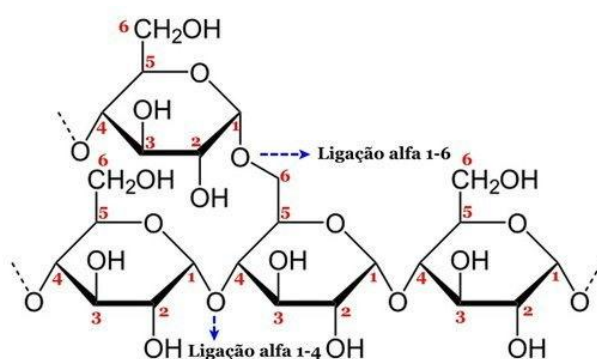
2.1.15 Amido

O amido é uma das principais reservas de energia de plantas e uma importante fonte alimentar para seres humanos e animais. Sendo de alta abundância na natureza, se encontra presente em cereais, tubérculos e raízes, como milho, batata, mandioca, trigo e arroz, onde o milho se destaca, representando cerca de 80% da produção mundial e atingindo, aproximadamente 340 milhões de toneladas por ano. Sua ampla disponibilidade e baixo custo tornam o amido um recurso estratégico para aplicações industriais e tecnológicas.

É polímero natural de estrutura granular, com grânulos variando entre 2 e 100 μm . Ele é constituído por dois polissacarídeos de glicose: amilose e amilopectina. A amilose possui cadeias lineares com ligações α (1 $\rightarrow$ 4) - glicosídicas, configurando a fração menos ramificada e mais hidrofóbica do amido. Já a amilopectina apresenta cadeias longas e altamente ramificadas, unidas por ligações α (1 $\rightarrow$ 4) - glicosídicas e ramificações α (1 $\rightarrow$ 6), responsáveis pela complexidade estrutural e pelas propriedades diferenciadas do material. A proporção entre amilose e amilopectina varia conforme a origem botânica, influenciando o comportamento térmico, mecânico e funcional do amido (Jânia, 2015).

Figura 04 – fórmula estrutural da amilose

Fonte: Batista, 2025

Figura 05 – fórmula estrutural da amilopectina

Fonte: Batista, 2025

Os grânulos de amido são insolúveis em água fria, mas possuem alta capacidade de absorção de água devido aos grupos hidroxila presentes em suas cadeias, que formam ligações de hidrogênio com as moléculas de água. Quando aquecido em presença de água, o amido passa pelo processo de gelatinização: ocorre ruptura das ligações de hidrogênio, hidratação intensa das cadeias, inchaço dos grânulos e perda da estrutura cristalina, resultando em uma matriz amorfa, etapa essencial para sua transformação em material termoplástico. Após gelatinizado, o processo torna-se irreversível, favorecendo aplicações que exigem plasticidade e coesão (Feroldi *et al.*, 2024).

O amido possui grande versatilidade industrial devido à sua abundância, biodegradabilidade e capacidade de formar filmes coesos, solúveis e com boa retenção de água. (Fernandes, 2020) Por isso, é amplamente utilizado nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética, têxtil e de papel, atuando como agente ligante, espessante, gelificante, estabilizante e de reforço. Na área de materiais poliméricos, destaca-se como matéria-prima essencial para a produção de bioplásticos e filmes

biodegradáveis, principalmente após sua conversão em amido termoplástico (TPS). Essa conversão permite substituir polímeros sintéticos em aplicações onde sustentabilidade e degradação ambiental são desejáveis, aproveitando inclusive resíduos industriais de amido para gerar produtos com propriedades funcionais adequadas.

2.1.16 Óleo de cravo

O óleo essencial de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*) é obtido principalmente por destilação a vapor dos botões florais secos da planta. Seu principal constituinte ativo é o eugenol, que corresponde cerca de 70% a 90% de sua composição em óleos essenciais, acompanhado de outros compostos como β -cariofileno, acetato de eugenila e humuleno. Devido à sua biocompatibilidade e elevada bioatividade, o óleo de cravo tem sido amplamente estudado para uso em odontologia, dermatologia, farmacologia e biotecnologia médica. Esses componentes conferem ao óleo atividade antioxidante, antimicrobiana e anti-inflamatória, sendo o eugenol o composto mais estudado em aplicações biomédicas.

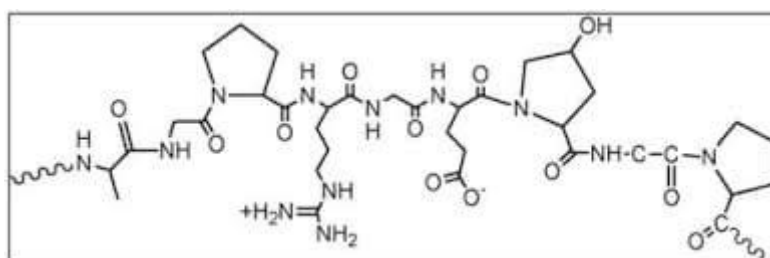
As principais propriedades do óleo de cravo são biológicas antibacteriana e antifúngica, onde o eugenol atua rompendo a membrana celular microbiana, causando vazamento de íons e inibição enzimática. Anti-inflamatória, o óleo de cravo inibe mediadores inflamatórios, como prostaglandinas e citocinas pró inflamatórias (TNF- α e IL-6), reduzindo a inflamação e a dor. Analgésica e anestésica, onde eugenol possui efeito anestésico local, bloqueando os canais de sódio neuronais, mecanismo semelhante à lidocaína. É tradicionalmente usado para alívio de dores dentárias. Antioxidante, devido à presença de um grupo fenólico, o eugenol é um captador de radicais livres altamente eficaz, prevenindo danos oxidativos em tecidos e células, e cicatrizante em aplicações tópicas, promove aumento da regeneração epitelial e síntese de colágeno, acelerando a cicatrização de feridas.

2.1.17 Colágeno

A gelatina é uma proteína pura obtida pela hidrólise parcial e controlada do colágeno, uma família de 27 proteínas fibrosas presentes nos tecidos conjuntivos de animais (Cavalcanti; Ilha; Bertencello, 2013). O colágeno é abundante em peles, ossos e tendões, especialmente de bovinos, suínos e peixes, sendo no Brasil

majoritariamente proveniente dos subprodutos da indústria de carne. (Tatiane; Lúcia, 2016). Durante o processo de hidrólise, as ligações de hidrogênio que estabilizam a tripla hélice do tropocolágeno são quebradas, convertendo a estrutura organizada em cadeias desordenadas características da gelatina. A gelatina é um polímero de alto peso molecular, podendo variar de 15.000 a 400.000 g/mol, e apresenta composição majoritariamente proteica (84–99%), com pequenas proporções de água, sais minerais e traços de gordura (Cavalcanti; Ilha; Bertoncello, 2013).

Figura 06 – fórmula estrutural da gelatina



Fonte: Oliveira, G. 2023.

Por ser derivada do colágeno, a gelatina mantém composição química semelhante, porém apresenta estrutura amorfa, solubilidade em água quente e capacidade de formar géis termorreversíveis, características inexistentes no colágeno original. Sua composição média inclui 50,5% de carbono, 6,8% de hidrogênio, 17% de nitrogênio e 25,2% de oxigênio (Oliveira, 2023). Em água fria, a gelatina absorve de 5 a 10 vezes seu próprio peso e incha; quando aquecida acima de 27–40 °C, dissolve-se e forma uma solução que, ao resfriar, retorna a uma conformação helicoidal estabilizada por ligações de hidrogênio, originando uma matriz tridimensional responsável pela firmeza do gel.

A gelatina possui grande versatilidade tecnológica devido à sua solubilidade, biodegradabilidade, compatibilidade biológica e capacidade de formar géis termorreversíveis próximos à temperatura corporal. (Fakhouri, 2009). Por essa razão, é amplamente utilizada nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética, biomédica e fotográfica. Atua como agente gelificante, espessante, estabilizante, espumante e formador de filmes. (Aparecida, 2017). Além disso, é uma proteína facilmente digestível, rica em aminoácidos como glicina, prolina e hidroxiprolina, contribuindo para valor nutricional e aplicações que envolvem suplementação proteica e revestimentos comestíveis.

2.2 Procedimentos metodológicos

O referencial teórico é a base conceitual que sustenta esta pesquisa, oferecendo uma compreensão aprofundada sobre os princípios, classificações e aplicações dos hidrogéis.

2.2.1 Tipo de pesquisa

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa experimental, de abordagem quantitativa e descritiva, envolvendo a extração de pectina de diferentes frutas e a preparação de soluções para formação de filmes biopoliméricos à base de pectina e amido.

2.2.2 Materiais utilizados

- Maracujá (comprado em supermercado)
- Mamão (comprado em supermercado)
- Maçã (comprado em supermercado)
- Limão (comprado em supermercado)
- Amido de milho
- Gelatina incolor (marca Sol)
- Óleo de cravo
- Liquidificador doméstico
- Placas de Petri de poliestireno a
- Termômetro culinário digital
- Recipiente de aço inoxidável
- Fogão elétrico Eldin
- Balança analítica
- Papel filtro
- Água filtrada
- Soro fisiológico

2.2.3 Procedimentos experimentais

Neste capítulo, serão apresentados os materiais utilizados, as condições experimentais e os métodos aplicados para a síntese e caracterização dos hidrogéis. A escolha dos procedimentos foi baseada em protocolos consolidados na literatura, adaptados às necessidades do estudo.

2.2.3.1 Extração da pectina do maracujá

Os maracujás foram lavados em água corrente e cortados ao meio, com remoção da polpa e utilização apenas da parte exterior da fruta (como a casca e o mesocarpo). As cascas foram colocadas em um recipiente de aço inoxidável contendo 1 litro de água filtrada sendo submetido até uma temperatura de $\pm 95^{\circ}\text{C}$ (temperatura de ebulição branda) e mantida sob agitação constante. Após o início da fervura, o cozimento foi mantido por 15 minutos, visando favorecer a extração da pectina presente no mesocarpo. Encerrado o aquecimento, o material foi triturado no liquidificador utilizando a própria água de cozimento, para obter um extrato homogêneo. A solução foi filtrada em papel filtro, originando o extrato pectinoso. Em seguida, adicionaram-se 2 gramas de gelatina para auxiliar na formação da matriz polimérica mais resistente.

Figura 07 - Filme de maracujá com adição de gelatina



Fonte: Autor, 2025

2.2.3.2 Extração da pectina do mamão

O mamão foi lavado, descascado e cortado em pequenos pedaços, com remoção completa das sementes e a casca, utilizando apenas a polpa da fruta. O material foi colocado em um recipiente de aço inoxidável contendo 2 litros de água filtrada e o suco de um limão, utilizado como acidulante para facilitar a extração da pectina.

sendo submetido até uma temperatura de $\pm 95^{\circ}\text{C}$ e mantida em fervura por um período de 2 horas, atingindo um ponto de amolecimento total da fruta. Em seguida,

o material foi processado no liquidificador com a própria água de cozimento e filtrado em papel filtro. Ao extrato pectinoso obtido adicionou-se 2 gramas de gelatina para melhorar a firmeza e a uniformidade do filme durante a secagem.

Figura 08 - Filme de mamão com adição de gelatina



Fonte: Autor, 2025

2.2.3.3 Extração da pectina da maçã

As maçãs foram lavadas e cortadas em quatro partes, mantendo-se cascas e sementes devido ao alto teor de pectina nessas regiões. As porções foram submetidas ao cozimento em água filtrada sendo submetido até uma temperatura de $\pm 95^{\circ}\text{C}$ por um período de 2 horas.

Após o cozimento, a fruta foi peneirada em um processo em que foi preciso realizar a filtragem quatro vezes para obter um melhor extrato e para separar o líquido do bagaço. O extrato do líquido foi filtrado quatro vezes para aumentar a pureza. O material sólido remanescente foi triturado no liquidificador para maximizar a extração de pectina e novamente filtrado com um filtro papel, resultando no extrato final, na qual foi adicionado 2 gramas gelatina para uma maior firmeza e melhora no filme.

Figura 09 - Filme de maçã com adição de gelatina



Fonte: Autor, 2025

2.2.4 Preparo da solução de amido

O amido foi preparado utilizando uma proporção de 25 g de amido de milho para 200 ml de água filtrada. A mistura foi aquecida em recipiente de aço inoxidável para aquecimento em até 95°C, foi adicionado 2 gotas de óleo de cravo como conservante natural. O aquecimento foi mantido até que a solução adquirisse consistência de mingau, indicando completa gelatinização do amido.

Figura 10 - Filme de amido com óleo de cravo.



Fonte: Autor, 2025

2.2.5 Preparação das amostras para análise

Após o preparo dos extratos pectinosos e da solução de amido, foram elaboradas 13 amostras, utilizando combinações específicas entre pectina e amido. As proporções experimentais estabelecidas foram:

50% pectina e 50% amido

75% pectina e 25% amido

25% pectina e 75% amido

Cada formulação foi pesada individualmente em balança analítica, totalizando 14 g de mistura por amostra, quantidade padronizada para a produção dos filmes biopoliméricos.

As três proporções foram aplicadas aos extratos de maracujá, mamão e maçã, possibilitando uma análise comparativa da influência da concentração de sólidos (pectina + amido) sobre a viscosidade, estabilidade e capacidade de formação de gel das formulações.

A padronização das massas e proporções garantiu reprodutibilidade ao processo e confiabilidade às análises posteriores.

2.2.5.1 Teste de solubilidade

Para avaliar a solubilidade e o comportamento dos filmes biopoliméricos em meio aquoso, foi realizado um ensaio utilizando soro fisiológico (solução de cloreto de sódio a 0,9%). O objetivo do teste foi avaliar a capacidade de dissolução do material em condições que replicam tanto o ambiente de armazenamento quanto o de uso do produto.

O procedimento foi realizado em duas faixas de temperatura: temperatura ambiente em uma faixa de 22°C e em fase aquecida de 35 °C, sendo esta última a temperatura corporal média humana. Em cada ensaio, adicionou-se 26 mL de soro fisiológico em placas de Petri, nas quais se incorporaram 3g do filme para análise.

As amostras armazenadas em temperatura ambiente foram acompanhadas a cada 1 hora, possibilitando a visualização gradual do processo de solubilização. Em seguida, o soro fisiológico foi aquecido em um recipiente de aço inoxidável até alcançar a

temperatura de 35–36 °C, assegurando a estabilidade térmica antes da inserção do filme.

Essa metodologia possibilitou a comparação do desempenho dos filmes nas duas condições térmicas, fornecendo subsídios para a avaliação de sua aplicabilidade e estabilidade em contextos reais de uso.

2.2.6 Local e período da pesquisa

As extrações e preparações dos extratos foram realizadas em ambiente doméstico adaptado como laboratório experimental durante o mês de novembro de 2025, utilizando os materiais e equipamentos descritos.

2.2.7 Tratamento e análise dos dados

Os extratos foram avaliados quanto à aparência visual, viscosidade, rendimento e comportamento durante a formação dos filmes. As medidas de pH foram realizadas utilizando fita indicadora, enquanto massas e volumes foram determinados por balança analítica e medições diretas durante o processo. Os dados obtidos foram registrados e analisados de forma comparativa entre as diferentes formulações.

2.3 Análise de resultados

Os dados obtidos confirmaram a eficácia da utilização da pectina como agente solubilizados dos medicamentos. A análise comparativa da solubilidade dos filmes feitos com três fontes de pectina (maçã, maracujá e mamão) mostrou variações significativas no comportamento de cada material em relação aos meios testados, apontando uma influência direta da composição química e da estrutura polimérica de cada tipo de pectina.

O filme produzido com pectina de maçã exibiu um desempenho satisfatório em meio aquecido (35 °C), mostrando uma solubilização mais uniforme e consistente. Esse fenômeno pode estar relacionado à maior sensibilidade térmica das ligações hidrofílicas encontradas na pectina de maçã, que favorecem a interação com o solvente em temperaturas mais altas. No entanto, em temperatura ambiente, notou-se uma dispersão reduzida e a presença de partículas remanescentes, indicando que a estrutura do filme exibe uma rigidez intermolecular maior em condições menos energéticas.

Ademais, a dificuldade inicial em combinar maçã e gelatina, que resultou em um filme excessivamente mole, sugere que a proporção ou o grau de reticulação entre os dois biopolímeros pode não ter sido adequado para garantir a coesão necessária. De acordo com a literatura, filmes que contêm pectina e gelatina podem se tornar instáveis quando a proporção entre os polímeros não é adequada para formar uma rede tridimensional eficiente, o que pode comprometer a resistência e a integridade mecânica do material.

O filme de pectina de maracujá exibiu o melhor desempenho entre todas as amostras avaliadas, tanto à temperatura ambiente quanto a 35 °C. A alta taxa de dispersão e a rápida solubilização no meio aquecido sugerem que a matriz polimérica formada tem uma densidade de ligações intermoleculares menor, o que facilita a penetração do solvente e a desestruturação do filme.

Pesquisas sobre a pectina de maracujá indicam que esse tipo de pectina tende a ter um alto conteúdo de grupos carboxílicos ionizáveis, o que intensifica sua afinidade com soluções aquosas, especialmente as salinas, como o soro fisiológico. Esse aspecto pode justificar a maior solubilização observada, pois a presença de íons Na^+ pode contribuir para a expansão da rede polimérica e agilizar o processo de hidratação.

O filme feito com pectina de mamão mostrou baixa dispersão nas duas condições avaliadas, com solubilização consideravelmente mais lenta do que a registrada nos filmes de maçã e maracujá. Essa restrição pode estar ligada à composição estrutural da pectina de mamão, que, em determinadas pesquisas, exibe propriedades mais gelificantes, criando redes mais densas e de difícil desintegração no meio aquoso.

A baixa permeabilidade do solvente na matriz polimérica é indicada pela lentidão na dispersão, mesmo quando aquecida. Isso pode ser causado por um maior grau esterificação ou pela presença de resíduos e impurezas resultantes da extração artesanal. Esses elementos podem reforçar a resistência estrutural do filme e tornar sua desintegração mais difícil.

A exigência de períodos mais prolongados de solubilização fortalece a suposição de que o filme de mamão possui menor compatibilidade com o meio salino, necessitando

de ajustes na extração, purificação ou proporções da formulação para otimizar seu desempenho.

De maneira geral, os resultados indicam que a pectina de maracujá teve a maior eficácia nos dois ambientes testados, sendo seguida pela pectina de maçã, que apresentou um desempenho aceitável apenas no meio aquecido. Por outro lado, a pectina de mamão teve um desempenho inferior, o que indica que é necessário fazer ajustes na formulação ou no processo de extração para criar um filme mais funcional. Esses resultados indicam que variações intrínsecas na estrutura molecular das pectinas afetam diretamente a solubilidade dos filmes, destacando a relevância da caracterização físico-química prévia para usos tecnológicos

Tabela 01 – Avaliação de desempenho da solubilidade das blendas

Pectina x Amido	Maçã		Mamão		Maracujá	
	20°C ~ 22°C	34°C ~ 36°C	20°C ~ 22°C	34°C ~ 36°C	20°C ~ 22°C	34°C ~ 36°C
100% x 0%	Parcial	Boa	Parcial	Boa	Boa	Boa
25% x 75%	Boa	Boa	Boa	Parcial	Parcial	Boa
50% x 50%	Boa	Boa	Parcial	Parcial	Boa	Boa
75% x 25%	Boa	Boa	Parcial	Parcial	Boa	Boa

Fonte: Autor, 2025

Na tabela descrita acima (Autor, 2025), podemos ver o desempenho que as blendas de pectina x amido teve nas diferentes temperaturas, observa-se um melhor resultado quando utilizado a blenda que contém maracujá, pois ela consegue se desenvolver tanto sem o amido quanto com ele. A maçã também teve uma desenvoltura, porém ela sozinha não consegue em temperatura ambiente solubilizar bem. Já o mamão não conseguiu ter uma boa performance em quase nenhuma das blendas ou sozinho.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou, em meios operacionais mais básicos, a capacidade de desenvolver filmes biopoliméricos funcionais a partir de blendas de amido e pectina extraída de maçã, mamão e maracujá para a aplicação farmacêutica. Os resultados confirmaram que é possível valorizar polímeros naturais agroindustriais para a produção de biomateriais farmacêuticos através de processos acessíveis e de baixo custo.

A caracterização das amostras revelou que as propriedades finais do material são estruturadas de acordo com origem da pectina e pela proporção da mistura, onde, a pectina de maçã com 75% de amido proporcionou a melhor formulação, resultando em filmes mais homogêneos e de fácil sintetização, diferente do filme produzido a partir da pectina de mamão, que teve um processo de sintetização mais complexo, afetando diretamente na sua capacidade de solubilidade e dispersão em meio aquoso, onde foi possível observar que o filme a partir da pectina de maracujá com 50 % de amido foi o mais satisfatório diante de toda pesquisa, apresentando um melhor resultado em solução em temperatura corporal ($\sim 34^{\circ}\text{C}$ à 36°C).

Sendo assim, combinando os resultados de formulação e análises, declaramos o filme de maracujá sendo a melhor alternativa para ambas as necessidades, podendo atender as especificações prévias de custo e sustentabilidade, questões cada vez mais presentes ao nosso redor, quanto os resultados específicos que buscamos quanto sua formulação, comportamento físico e aptidão para a aplicação de liberação controlada de fármacos diante a biomedicina.

Considerando todo processo de estruturação das blendas hidrofílicas, e análise de solubilização dos filmes biopoliméricos, acreditamos que com estudos mais avançados de sintetização, diferentes análises de propriedades físicas, químicas, estrutural e comportamento dimensional, proporção das matérias primas, formulações com outros componentes, e um ambiente de estudo mais adequado e equipado, a pectina, o amido de milho e a gelatina são ótimas alternativas em custo, abundancia na natureza e mais sustentáveis, para a aplicação biomédica em geral, mas principalmente na desejada formulação de fármacos.

REFERÊNCIAS

AOUADA, Fauze Ahmad; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli. **Hidrogéis biodegradáveis**: uma opção na aplicação como veículos carreadores de sistemas de liberação controlada de pesticidas. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 32 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/658248/1/BPD282009.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2025.

APARECIDA, R. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes a base de gelatina**. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/124924>>.

BARBIERI, D. **Desenvolvimento de filmes de desintegração oral a base de pectina/amido para liberação de fármaco**. Disponível em: <<https://repositorio.unifesp.br/server/api/core/bitstreams/5465a0c6-c536-41b4-a4c9-0160e817840c/content>>.

BARCELLOS, Ivonete Oliveira. **Estudo de Blendas Poliméricas e Hidrogéis com Aplicações na Área Biomédica**. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/77520/138801.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 set. 2025.

BASHIR, S.; HINA, M.; IQBAL, J.; RAJPAR, A. H.; MUJTABA, M. A.; ALGHAMDI, N. A.; WAGEH, S.; RAMESH, K.; RAMESH, S. **Fundamental concepts of hydrogels**: synthesis, properties, and their applications. *Polymers*, Basel, v. 12, n. 11, p. 2702, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/polym12112702>>. Acesso em: 18 out. 2025.

BATISTA, Carolina. **Amido**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/amido/>>. Acesso em: 14 nov. 2025.

CALÓ, E.; KHUTORYANSKIY, V. V. Biomedical Applications of Hydrogels: A Review of Patents and Commercial Products. **European Polymer Journal**, v. 65, p. 252-267, 2015. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2014.11.024.

CANTERI, M. H. G. et al. **Pectina**: da matéria-prima ao produto final. *Polímeros*, v. 22, n. 2, p. 149–157, 10 abr. 2012.

CAVALCANTI, C. D. K.; ILHA, P.; BERTONCELLO, K. C. G. O Cuidado de Enfermagem a Vítimas de Traumas Múltiplos: Uma Revisão Integrativa. **Journal of Health Sciences**, v. 15, n. 1, 2013.

CONDE, L. M. D. S. **Polímeros naturais para aplicações biomédicas**. Disponível em:

<<https://www.proquest.com/openview/a03b531bb68b8641e88d189d5b79831d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>>.

COSTA, R. A. S. **Síntese e teste de hidrogéis inteligentes para a libertação controlada de fármacos**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Politécnico de Bragança, 2013. Disponível em:

<<https://www.rcaap.pt/detail.jsp?id=oai:bibliotecadigital.ipb.pt:10198/9231>>.

FAKHOURI, F. M. **Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis à base de amido e gelatina**. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/436205>>.

FERNANDES, R. DA S. **Desenvolvimento de hidrogéis bionanocompósitos ativos baseados em amido e alginato com potencial aplicação na agricultura e na biomedicina**. Disponível em:

<<https://repositorio.unesp.br/entities/publication/2efa9251-34c1-4386-8cf8-a2ca7cf97e5c>>.

FEROLDI, A. C. et al. **Bioplástico proveniente do amido**. Sp.gov.br, 2024.

GUEVARA, S. P. **Extração sustentável e caracterização da pectina obtida do mamão formosa**.

HIKUAN, C. Aspects of Thermodynamics of Polymer Mixtures. **Chinese Journal of Polymer Science**, v. 5, n. 3, p. 175-185, 1987.

IMRE, B.; RENNER, K.; PUKÁNSZKY, B. Interactions , structure and properties in poly (lactic acid)/ thermoplastic polymer blends. **EXPRESS Polymer Letters** , v. 8, n. 1, p. 2–14, 2014.

JÂNIA, M. **Síntese do bioplástico a partir do amido de batata inglesa: uma proposta de experimento para o ensino de química**. Ifpb.edu.br, 2015.

KAITH, B. S. et al. Hydrogels: Synthesis, Classification, Properties and Potential Applications—A Brief Review. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, p. 3827–3841, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02184-5>.

LEAL, K. **Pectina**: o que é, para que serve (e como preparar em casa). 2018.

LEE, C.-S.; HWANG, H. S. Starch-Based Hydrogels as a Drug Delivery System in Biomedical Applications. **Gels**, v. 9, n. 12, p. 951–951, 4 dez. 2023.

LUNA, C. B. B. et al. Desenvolvimento de blendas poliméricas visando a tenacificação dos polímeros: uma revisão. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 36, n. 1, p. 67-80, 2015.

MADDUMA-BANDARAGE, U. S. K.; MADIHALLY, S. V. Synthetic Hydrogels: Synthesis, Novel Trends, and Applications. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 138, n. 19, p. 50376, 2021. DOI: 10.1002/app.50376.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. **Filmes de amido**: produção, propriedades e potencial de utilização. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744095013.pdf>>.

MARTINS, D.; MIGLIORINI, F. L.; CORRÊA, D. S. **Nanocompósitos poliméricos**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2021. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1148354/1/P-NANOCOMPOSITOS-POLIMERICOS.pdf>>.

NAQASH, F. et al. Pectin recovery from apple pomace: physico-chemical and functional variation based on methyl-esterification. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 9, p. 4669–4679, 11 jun. 2021.

OLIVEIRA, G. G. **Produção e caracterização de gelatina: uma revisão bibliográfica**. 2023.

PINHEIRO, E. R. **Pectina da casca do maracujá amarelo** (*Passiflora edulis* flavicarpa): otimização da extração com ácido cítrico e caracterização físico-química. Ufsc.br, 2025.

QUENTAL, A. C. **Blendas de PHB e seus copolímeros**: miscibilidade e compatibilidade. 2010. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

RATNER, B. D.; HOFFMAN, A. S.; SCHOEN, F. J.; LEMONS, J. E. (Ed.).

Biomaterials science: introduction to materials in medicine. San Diego: Academic Press, 1996.

ROSIK, J. M.; YOSHII, F. **Hydrogels and Their Medical Applications**. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, v. 151, p. 56-64, 1999. DOI: 10.1016/S0168-583X(99)00118-4.

SILVA, K. M. M. N. **Desenvolvimento, caracterização e potenciais aplicações de blendas e compósitos baseados em alginato, carboximetilcelulose e xantana**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstreams/4c04a18c-837a-402e-a861-a11ebbc3efc7/download>>.

SOUZA, P. DE. **Desenvolvimento e caracterização de biofilme à base de pectina, amido e sorbitol**. Unioeste.br, 2021.

STEPHANY, B. *et al.* **Desenvolvimento do biofilme à base de amido e pectina para conservação de alimentos in-natura**. Sp.gov.br, 2025.

TATIANE, S.; LÚCIA, A. **Colágeno**: características químicas e propriedades funcionais. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/entities/publication/72ea30b8-b569-4f74-8cd0-4402c15307b9>>.

THAKUR, M. **Modern applications and current status of green nanotechnology in environmental industry**. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/pii/B9780128231371000105>>.

UNESP. **Filmes de amido**: produção, propriedades e potencial de utilização. 2020. Dissertação – Universidade Estadual Paulista. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/entities/publication/6a0405bf-5a8c-4e48-847b-1f8d5f4591b9>>. Acesso em: 18 out. 2025.