

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ERIKA ROSA MELLO**

**BIOFILME DE PECTINA DE MAÇÃ E AMIDO COM SORO DE IOGURTE  
CRIOCONCENTRADO**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2025**

**ERIKA ROSA MELLO**

**BIOFILME DE PECTINA DE MAÇÃ E AMIDO COM SORO DE IOGURTE  
CRIOCONCENTRADO**

**Apple pectin and starch biofilm with cryo concentrated yogurt whey**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Helene Giovanetti  
Canteri.

Coorientador: Prof. Dr. Douglas da Costa Ferreira

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2025**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ERIKA ROSA MELLO**

**BIOFILME DE PECTINA DE MAÇÃ E AMIDO COM SORO DE IOGURTE  
CRIOCONCENTRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 26 / junho / 2025

---

Maria Helene Giovanetti Canteri  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Douglas da Costa Ferreira  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ronaldo Follmann Santos  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2025**

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos e pelos momentos de ausência.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos. Em especial, à minha mãe Amariuza, pelo amor, dedicação e incentivo constante; ao meu pai Edson, pelo exemplo de força e perseverança; e à minha irmã Gabriela, pelo carinho e companheirismo ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

À minha orientadora, Maria Helene Canteri, pela orientação atenciosa, pelos ensinamentos transmitidos com paciência e pelo apoio essencial na construção deste trabalho. Ao meu coorientador, Douglas Ferreira, pela disponibilidade e contribuições técnicas.

Agradeço também à Central de Análises do Campus Pato Branco e ao LabAna do Campus Francisco Beltrão, pela infraestrutura e suporte que foram fundamentais para a realização das análises e experimentos.

Estendo minha gratidão a todos os amigos, professores e colegas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. A todos, o meu sincero muito obrigado.

É no esforço persistente e silencioso do  
laboratório que a ciência se aproxima da vida.  
(Marie Curie, 1911).

## RESUMO

O descarte de resíduos agroindustriais, como o bagaço da maçã e o soro de iogurte, representa um desafio ambiental e uma oportunidade para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis. Este trabalho teve como objetivo investigar o uso da pectina extraída da maçã Gala na formulação de biofilmes biodegradáveis, em combinação com amido e soro de iogurte crioconcentrado. A metodologia incluiu a extração da pectina a partir da farinha do bagaço de maçã. A caracterização físico-química do biopolímero e a produção de biofilmes com diferentes concentrações de pectina (1%, 2% e 3%). Foram realizadas análises de umidade, solubilidade, cor, propriedades mecânicas (tensão de ruptura e alongação), biodegradabilidade em solo e microestrutura por microscopia eletrônica de varredura. O rendimento médio da extração foi de 5,3%, com grau de esterificação de 89,37%, indicando pectina de alta metoxilação. Os biofilmes com maior teor de pectina apresentaram menor umidade e solubilidade, maior resistência mecânica e menor capacidade de alongação. A biodegradabilidade em solo demonstrou que todos os filmes se degradaram ao longo do tempo, com destaque para os filmes com 1% e 3% de pectina, que apresentaram maior variação de massa. As análises por microscopia evidenciaram uma estrutura fibrosa, favorável à interação com outros compostos. Os resultados indicam que é possível agregar valor a resíduos alimentares por meio da produção de materiais biodegradáveis, com potencial para aplicações em embalagens sustentáveis.

Palavras-chave: biofilme; pectina; maçã gala; resíduos agroindustriais; embalagem biodegradável.

## ABSTRACT

The disposal of agro-industrial residues, such as apple pomace and yogurt whey, represents both an environmental challenge and an opportunity for the development of biodegradable materials. This study aimed to investigate the use of pectin extracted from Gala apples in the formulation of biodegradable biofilms, in combination with starch and cryoconcentrated yogurt whey. The methodology included the extraction of pectin from apple pomace flour, physicochemical characterization of the biopolymer, and production of biofilms with different pectin concentrations (1%, 2%, and 3%). Analyses of moisture, solubility, color, mechanical properties (tensile strength and elongation), soil biodegradability, and microstructure using scanning electron microscopy were performed. The average extraction yield was 5.3%, with a degree of esterification of 89.37%, indicating high-methoxyl pectin. Biofilms with higher pectin content showed lower moisture and solubility, higher mechanical strength, and lower elongation capacity. Soil biodegradability tests demonstrated that all films degraded over time, with the 1% and 3% pectin films exhibiting the greatest mass variation. Microscopy analysis revealed a fibrous structure, favorable for interaction with other compounds. The results indicate that it is possible to add value to food residues through the production of biodegradable materials with potential applications in sustainable packaging.

Keywords: biofilm; pectin; Gala apple; agro-industrial residues; biodegradable packaging.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 – Estrutura da maçã .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2 – Produção de biofilme .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3 – Estrutura geral da pectina .....</b>	<b>22</b>
<b>Fotografia 1 – Maçãs Gala utilizadas no processo.....</b>	<b>23</b>
<b>Fotografia 2 - Mesocarpo desidratado do Teste 1 .....</b>	<b>24</b>
<b>Fotografia 3 – Mesocarpo desidratado do Teste 2 .....</b>	<b>25</b>
<b>Fotografia 4 – Farinha do mesocarpo Teste 1 e Teste 2.....</b>	<b>25</b>
<b>Fotografia 5 – Gel de pectina em álcool .....</b>	<b>26</b>
<b>Fotografia 6 – Pectina úmida (esquerda) e pectina seca (direita).....</b>	<b>27</b>
<b>Fotografia 7 – Teste de biodegradabilidade dos biofilmes com pectina de maçã, amido e soro de iogurte crioconcentrado.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 1 – Rendimentos obtidos .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4 – Espectro de infravermelho das amostras de pectina de maçã (a direita) é comparadas a pectina comercial HM (a esquerda) .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 2 – Grau de esterificação da pectina de maçã utilizada para produção do biofilme.....</b>	<b>35</b>
<b>Fotografia 8 – Microeletrografia de varredura de pectina amplificada 150 vezes (A), 1500 vezes (B) e 2000 vezes (C) .....</b>	<b>35</b>
<b>Fotografia 9 – Testes falhos dos biofilmes .....</b>	<b>36</b>
<b>Fotografia 10 – Testes em camadas dos biofilmes .....</b>	<b>37</b>
<b>Fotografia 11 – Aspecto visual do primeiro teste dos biofilmes.....</b>	<b>38</b>
<b>Fotografia 12 – Aspecto visual do segundo teste dos biofilmes .....</b>	<b>39</b>
<b>Fotografia 13 – Aspecto visual do biofilme controle .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas dos biofilmes de pectina de maçã.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 4 – Resultados de tensão de ruptura e alongação.....</b>	<b>42</b>
<b>Gráfico 1 – Resultados da biodegradabilidade do biofilme de pectina de maçã .....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1– Rendimentos obtidos .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 2 – Grau de esterificação da pectina de maçã utilizada para produção do biofilme.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas dos biofilmes de pectina de maçã.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 4 – Resultados de tensão de ruptura e alongação.....</b>	<b>42</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Problema</b> .....	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivo específico</b> .....	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Maçã Gala</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Filmes biodegradáveis</b> .....	<b>19</b>
3.2.1	Formação de biofilmes .....	20
3.2.2	Biopolímeros .....	20
<b>3.3</b>	<b>Pectina</b> .....	<b>21</b>
3.2.3	Extração da pectina .....	22
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Material</b> .....	<b>23</b>
<b>4.2</b>	<b>Produção da farinha de matéria-prima</b> .....	<b>24</b>
<b>4.3</b>	<b>Extração da pectina</b> .....	<b>26</b>
<b>4.4</b>	<b>Análises da pectina</b> .....	<b>27</b>
<b>4.5</b>	<b>Produção do biofilme</b> .....	<b>28</b>
<b>4.6</b>	<b>Propriedades do biofilme</b> .....	<b>30</b>
4.6.1	Espessura .....	30
4.6.2	Umidade .....	30
4.6.3	Solubilidade .....	30
4.6.4	Cor .....	31
4.6.5	Propriedades mecânicas .....	31
4.6.6	Biodegradabilidade .....	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Análises da extração de pectina</b> .....	<b>33</b>
5.1.1	Rendimento .....	33
5.1.2	Espectroscopia de infravermelho-final .....	33
5.1.3	Grau de esterificação .....	35
<b>5.2</b>	<b>Biofilmes produzidos</b> .....	<b>36</b>
5.2.1	Propriedades mecânicas .....	33

5.2.2	Biodegradabilidade.....	44
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O plástico à base de petróleo representa o principal componente da poluição marinha, contando com 75% a 90% da taxa total de lixo nos mares (Sobral, 2022). A quantidade de plástico nos oceanos é estimada em cerca de 80 milhões de toneladas, porém este valor pode ser mais significativo devido à imprecisão quanto ao tempo de vida necessário para sua deterioração completa. Como essa decomposição do plástico ainda não é totalmente compreendida, até o momento há dúvidas se sua degradação é completa ou se apenas se desintegra em micropartículas, mantendo assim o impacto ambiental. A deterioração pode ocorrer por alguns fatores como ação microbiana, exposição à luz solar e por processos naturais ao longo do tempo (Duarte, 2022).

Devido aos atuais desafios decorrentes dos plásticos de origem petroquímica e ao aumento das preocupações ambientais, os biopolímeros têm se consolidado como uma alternativa sustentável, por serem biodegradáveis. Seu mercado tem crescido rapidamente, impulsionado pela necessidade de materiais biodegradáveis, especialmente na indústria alimentícia, utilizados no desenvolvimento de biofilmes e revestimentos comestíveis (Santos *et al.*, 2021; Stephen; Phillips; Williams, 2006).

Nas embalagens biodegradáveis, os polímeros naturais são amplamente utilizados por apresentarem propriedades estruturais e funcionais diferenciadas. São constituídos por macromoléculas como proteínas, lipídios e polissacarídeos, encontrados na natureza sem a intervenção de seres humanos. Em comparação com os polímeros sintéticos, possuem massas moleculares elevadas e uma estrutura mais complexa, com baixa estabilidade às altas temperaturas e maior facilidade para biodegradação, sendo uma opção mais ecológica (Conde, 2011).

A produção de maçãs no Brasil é significativa, com produção de 1,25 milhões de toneladas somente no ano de 2022, de acordo com dados do IBGE. Santa Catarina e Rio Grande do Sul lideram o cultivo deste fruto, respondendo por 79% e 16% da produção nacional, respectivamente, enquanto o Paraná contribui também com resultados expressivos. Além desta vasta cadeia produtiva, o descarte do bagaço gerado por conta dos processos industriais, como a produção de sucos e alimentos fermentados, gera grandes volumes de resíduos ricos em cascas, sementes e pectina. Estima-se que 25% dos resíduos sólidos proveniente das

indústrias de processamento de suco de maçã sejam representados pelo bagaço da fruta (Sforça, 2021).

Esse resíduo possui um alto teor de fibras e pectina, tornando-se uma matéria-prima extremamente viável para o desenvolvimento de biofilmes biodegradáveis, disponibilizando uma solução para o reaproveitamento desses subprodutos agroindustriais (Geus *et al.*, 2014; Ferreira *et al.*, 2022).

Dentre a vasta gama de polímeros naturais utilizados para o desenvolvimento de biofilmes tem-se a pectina, um polissacarídeo aniônico extremamente abundante e disponível em subprodutos agroindustriais, como cascas de frutas cítricas e bagaço de maçã. Sua extração ocorre de maneira simples e econômica, sendo uma opção viável para várias aplicações industriais, inclusive embalagens sustentáveis (Santana, 2023). O uso da pectina na produção de biofilmes tem se expandido, sendo utilizado como revestimentos alimentares e em aplicações farmacêuticas. Pesquisas mostram que biofilmes de pectina são capazes de ter barreiras comparáveis a embalagens comerciais, que combinadas com amido e plastificantes tornam-se mais flexíveis e resistentes (Lopes *et al.*, 2017; Giancone *et al.*, 2011).

Tendo como base estas informações, o presente trabalho propõe-se a desenvolver biofilmes a partir da pectina obtida de resíduos da maçã Gala com adição de soro de iogurte, com a finalidade de uso em embalagens para alimentos.

### **1.1 Problema**

É viável produzir um biofilme biodegradável a partir da pectina extraída da maçã Gala e do amido, adicionada de um resíduo da agroindústria, o soro de iogurte, de forma a oferecer uma alternativa eficaz para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de plásticos derivados do petróleo?

### **1.2 Justificativa**

Os plásticos marinhos representam cerca de 80% dos resíduos flutuantes nos oceanos. Esse problema decorre do manejo inadequado de resíduos sólidos e do descarte irregular, permitindo que grandes volumes de plástico alcancem os mares por meio dos rios, esgotos e lixões mal gerenciados. A degradação desses materiais no ambiente marinho é extremamente lenta, podendo levar décadas ou até séculos, o que agrava os impactos ambientais e dificulta sua remoção (Kaza *et al.*, 2018; Galgani *et al.*, 2013).

O modelo atual de desenvolvimento econômico e tecnológico estimula um consumo excessivo e a conseqüente geração de grandes quantidades de resíduos, como plásticos, metais, papeis e materiais orgânicos. Porém, o maior desafio não está apenas na produção desses rejeitos, mas na ausência de sistemas eficientes para tratamento e descarte, especialmente em países com menor investimento em tecnologia para o gerenciamento de resíduos sólidos. É notável a importância de se desenvolverem soluções para a redução desses detritos (Vilela-Ribeiro *et al.*, 2009).

Dessa forma, os biofilmes surgem como uma alternativa para a redução do consumo exacerbado dos polímeros sintéticos, e gradativamente, para os problemas gerados pelo seu consumo.

Os polímeros biodegradáveis, por apresentarem baixo impacto ambiental em comparação aos derivados do petróleo, podem ser consumidos junto com os alimentos ou degradados por microrganismos no solo, tornando-se adubo orgânico para compostagem (Embrapa, 2014).

Os biofilmes são produzidos a partir de polímeros naturais, sendo os polissacarídeos como pectina, amido, alginato, quitosana e celulose, amplamente utilizados na fabricação de embalagens biodegradáveis. A escolha do material depende das propriedades desejadas para a embalagem e da natureza do alimento a ser protegido, garantindo uma maior eficiência na preservação e segurança dos produtos embalados (Andreani, 2005).

A pectina, um polissacarídeo natural, destaca-se por suas propriedades gelificantes, estabilizantes e espessantes, bastante utilizadas industrialmente. Sua extração ocorre principalmente a partir de subprodutos agroindustriais, como casca de frutas cítricas e bagaço de maçã, sendo esses materiais as principais fontes comerciais desse biopolímero. Além de sua aplicação na indústria alimentícia e farmacêutica, a pectina tem demonstrado potencial para o desenvolvimento filmes biodegradáveis, oferecendo uma alternativa para esse tipo de resíduo (Jesus, 2017; Munhoz, Sanjinez-argandoña, Soares-júnior, 2010; Sriamornsak, 2003).

Os polissacarídeos, como a pectina, são amplamente utilizados nas indústrias alimentícias devido à sua capacidade de formar geis por meios químicos e sua permeabilidade seletiva a gases como dióxido de carbono e oxigênio. Esses atributos tornam-se úteis em processos que necessitam de estabilização e controle de texturas em alimentos. Porém, por serem compostos hidrofílicos, sua eficiência

como barreira à umidade é limitada, o que pode impactar sua aplicação em alimentos com alta atividade de água (Andrade *et al.*, 2008).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Produzir biofilmes utilizando a pectina extraída do mesocarpo da maçã Gala e amido, associada ao soro de iogurte crioconcentrado.

### 2.2 Objetivo específico

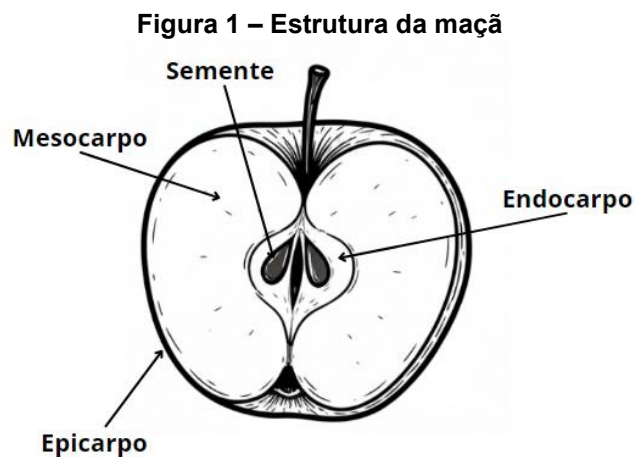
- Produzir farinha de bagaço de maçã Gala com baixo teor de açúcares, com remoção do suco por prensagem e centrifugação;
- Extrair a pectina da farinha do mesocarpo da maçã sob condições fixas de tempo, temperatura e concentração de ácido;
- Crioconcentrar o soro de iogurte produzido em bancada;
- Caracterizar a pectina extraída com relação ao rendimento, grau de esterificação;
- Preparar biofilmes, por meio da metodologia de *casting*, com a pectina extraída da maçã gala, amido como plastificante e soro de iogurte crioconcentrado;
- Caracterizar os biofilmes produzidos quanto à espessura, características mecânicas, cor e biodegradabilidade.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Maçã Gala

A produção de maçã na safra de 2022/23 na região Sul do país foi de 1,1 milhão de toneladas, com elevação de 10% devido às condições climáticas menos adversas em comparação ao ano anterior, apesar do frio e granizo que impactaram, principalmente, a maçã da variedade Fuji. A qualidade sensorial aumentou com frutas de tonalidade vermelha intensa e bons teores de açúcar. A perspectiva para 2023/24 é a queda na produção, afetada pelo El Niño. O mercado enfrentou alta devido ao controle de estoques, sendo possível a rentabilidade mesmo com o aumento dos custos. Entretanto, a balança comercial registrou o maior déficit histórico, com altas nas importações e queda nas exportações, especialmente para suco de maçã, devido à maior destinação das frutas de boa qualidade ao consumo *in natura* (Anuário Hortifruti Brasil, 2023).

A maçã possui uma estrutura básica (Figura 1) composta pela casca chamada de epicarpo; pelo mesocarpo, a camada imediatamente abaixo do epicarpo, também conhecido como polpa que contém a maior parte da pectina e pelo endocarpo, envoltório da semente, normalmente mais rígida (Barbosa *et al.*, 2012).



Fonte: Autoria própria (2025).

O bagaço da maçã pode representar de 20 a 40% da sua quantidade total, sendo constituído por cascas e polpas (94,5%), as sementes (4,4%) e os centros (1,1%). Contém 80% de umidade, 5% de fibras (12,0-23,2% de celulose, 6,4-19,1% de lignina, 3,5-18,0% de pectina e 5,0-6,2% de hemicelulose) além de 14% de

sólidos solúveis, correspondentes aos açúcares glucose, frutose e sacarose (Nogueira *et al.*, 2005).

### **3.2 Filmes biodegradáveis**

Filmes e revestimentos comestíveis biodegradáveis remontam há séculos, sendo historicamente aplicados para reduzir a perda de umidade e manter o brilho na superfície das frutas. No século XII, na China, o uso de ceras para revestir frutas cítricas já era uma prática utilizada para minimizar a desidratação. No Japão, no século XV, foi desenvolvido o primeiro filme comestível voltado para a preservação de alimentos, a partir do leite de soja (yuba). Em 1986, esse mercado cresceu significativamente nas décadas seguintes, passando de aproximadamente dez empresas para cerca de seiscentas em 1996. Atualmente, os filmes comestíveis são amplamente empregados na conservação de diversos tipos de alimentos, movimentando uma receita anual superior a 100 milhões de dólares (Dehghani; Hosseini; Regenstein, 2018).

Os filmes biodegradáveis são materiais finos desenvolvidos a partir de polímeros naturais, como amido, pectina e proteínas, capazes de agir como uma barreira protetora contra agentes externos. Sua principal função é preservar a integridade do produto embalado, reduzindo os danos físicos e biológicos, além de contribuir com a vida útil do alimento (Henrique; Cereda; Sarmiento, 2008).

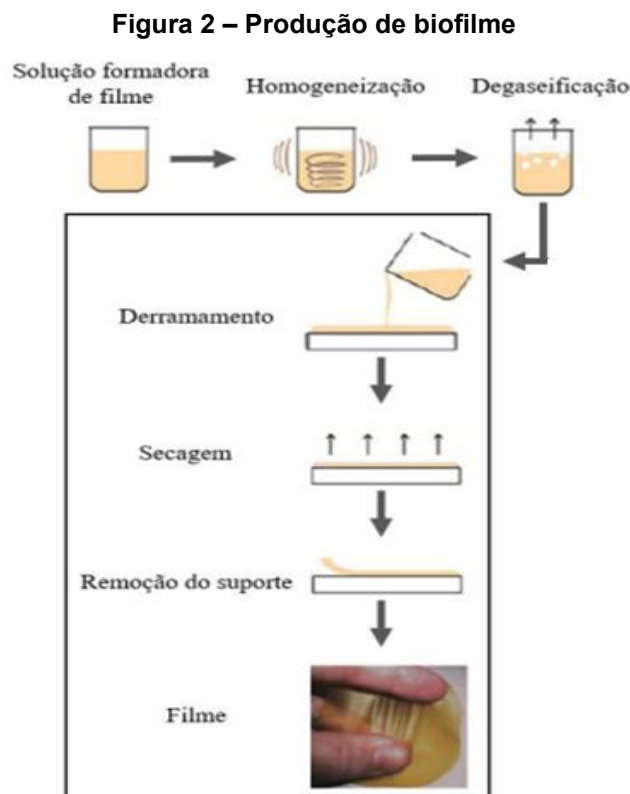
Por serem de fontes renováveis, os plásticos biodegradáveis são desintegrados por ação dos microrganismos, como fungos e bactérias. Algumas condições são necessárias para a biodegradação, como a presença de umidade, oxigênio, luz, calor, entre outras (Embrapa, 2022). Os resultados de um estudo feito pela Embrapa avaliando um plástico biodegradável produzido com gel de Aloe vera e amido de batata-doce, indicaram que após 60 dias em contato com o solo houve a perda de 59% da massa nas amostras. Após 120 dias, apenas vestígios das amostras foram encontrados, demonstrando uma degradação eficiente do material (Embrapa, 2023).

As propriedades funcionais de filmes à base de biomateriais são influenciadas por diversos fatores, como o tipo de matéria-prima utilizada (filmes à base de polissacarídeos, proteínas ou lipídios), seja isoladamente ou em combinação (materiais compósitos ou filmes laminados); as condições de fabricação, como pH, concentração e temperatura; a adição de agentes plastificantes, como

glicerol ou sorbitol, ou agentes de ligação; e as condições ambientais, incluindo umidade relativa e temperatura (Cuq, 1996, *apud* Asevedo, 2018).

### 3.2.1 Formação de biofilmes

A produção de um biofilme em escala laboratorial envolve a preparação de uma solução filmogênica, obtida pela dissolução ou dispersão do biopolímero em um solvente. Esta, em seguida, é aplicada em um molde adequado e submetida ao processo de secagem, para evaporação do solvente, técnica conhecida como casting. Quando se usa o amido nesta técnica, os grânulos passam por um processo de gelatinização em excesso de água, dispersando a amilose e a amilopectina. Durante o processo de secagem, essas macromoléculas voltam a se reorganizar, formando assim uma matriz contínua que resulta no biofilme final (Mali; Grossmann; Yamashita, 2010). Na Figura 2, pode ser vista uma representação esquemática do processo.



Fonte: Adaptado de Perondi (2021).

### 3.2.2 Biopolímeros

O termo “polímero” é derivado do grego poli, que significa “muitos”, e mero, que refere-se a “unidades de repetição”. Essas macromoléculas são formadas pela

repetição de um grande número de unidades estruturais, as quais se ligam entre si por meio de ligações covalentes. Os polímeros podem apresentar cadeias lineares, ramificadas ou reticuladas, dependendo da forma como seus monômeros se organizam (Canevarolo Jr, 2002).

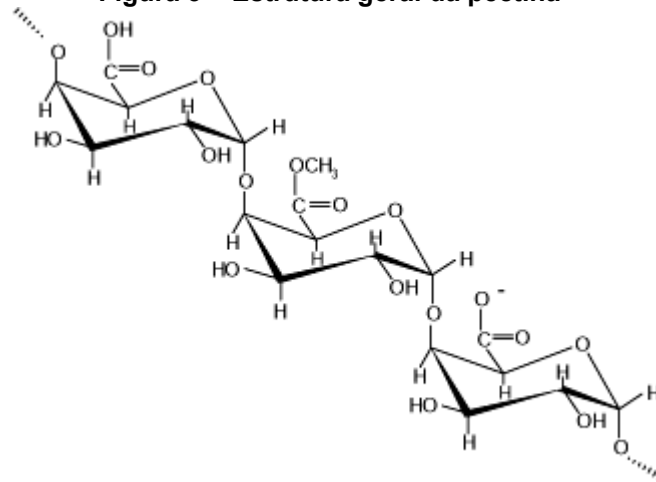
Biopolímeros podem ser consumidos em semanas ou meses sob condições de degradação favoráveis, devido à ação dos microrganismos de ocorrência natural, como bactérias, fungos e algas. Esses polímeros biodegradáveis são normalmente provenientes de fontes naturais renováveis, como milho, celulose, batata e maçã. Por exemplo, a pectina, um biopolímero extraído do bagaço da maçã, é amplamente utilizado na indústria alimentícia e farmacêutica (Brito *et al.*, 2011; Trovatti *et al.*, 2016).

### **3.3 Pectina**

A pectina é um hidrocoloide natural presente na parede celular primária das células e na lamela média, essencial na adesão celular e na resistência mecânica dos tecidos vegetais. Geralmente associada à celulose, hemicelulose e lignina, esse biopolímero pode ser extraído principalmente de resíduos agroindustriais, como o mesocarpo de frutos cítricos e do bagaço da maçã. Sua aplicação na indústria alimentícia se destaca por ser capaz de conferir firmeza, retenção de sabor e aroma (Valdés, 2015; Paiva, Lima, Paixão, 2009).

De maneira geral, a pectina é caracterizada (Figura 3) como um polissacarídeo composto por aproximadamente 150 a 500 unidades de ácidos galacturônicos parcialmente esterificados com grupos metoxílicos, conectados por meio de ligações glicosídicas do tipo  $\alpha$ -1,4, formando uma longa cadeia molecular (Leão, 2017).

**Figura 3 – Estrutura geral da pectina**



Fonte: Bierhalz (2010).

### 3.2.3 Extração da pectina

As condições de extração influenciam diretamente as propriedades da pectina, tanto em aspectos quantitativos quanto qualitativos. Fatores como pH, temperatura e tempo de extração podem ser ajustados para modificar o rendimento, a capacidade gelificante e o grau de esterificação da pectina, afetando sua funcionalidade em diferentes aplicações (Lambert *et al.*, 2023).

A extração da pectina se divide em três etapas básicas: extração ácido-aquosa do material vegetal, precipitação do líquido extraído e o isolamento da pectina. As condições de extração não influenciam somente na eficiência da extração, mas também no rendimento e na estrutura química do material obtido. A extração pode ocorrer pela ação de ácidos, tanto de origem orgânica quanto inorgânica, ou em meio alcalino. Em meio básico, pectinas de baixa metoxilação são atingidas devido à saponificação de grupos éster e à redução do comprimento da cadeia de ácido galacturônico por beta eliminação. Entretanto, este método tende a dificultar a filtração por conta da despolimerização do ácido pectínico. Já o meio ácido proporciona rendimento até 20% maiores, com pectinas de alta metoxilação, sendo mais utilizada, pois evita alterações significativas na estrutura do polissacarídeo, permitindo uma caracterização físico-química mais precisa e confiável (Paiva, Lima, Paixão, 2009).

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 4.1 Material

Maçã Gala (*Malus domestica* Borkh) foi adquirida em quantidade próxima a 11 kg (Fotografia 1) em mercado local da cidade de Francisco Beltrão – PR, dando preferência aos frutos sem danos físicos externos. O material foi direcionado a UTFPR *Campus* Francisco Beltrão.

**Fotografia 1 – Maçãs Gala utilizadas no processo**



**Fonte: Aatoria própria (2025).**

Para a produção do soro de iogurte, a cada litro de leite pasteurizado foi adicionado um copo de iogurte integral sem sabor (Batavo®) e 10 g de sacarose. A mistura permaneceu em estufa a 40 °C por 24 horas. Em seguida, adicionou-se 10 de cloreto de sódio e levou-se para dessoramento com filtração através de filtros de tecido sintético para queijo em refrigerador por 72 horas. O soro coletado foi crioconcentrado, seguindo a metodologia de Marquez (2023), com adaptações. O soro foi congelado a -18 °C em formas envoltas por placas de isopor para a formação de um gelo quebradiço. Este, posteriormente foi levemente triturado, inserido em bolsa de tecido sintético e centrifugado em centrífuga doméstica (Consul®) até o início do descongelamento do gelo (cerca de 2 minutos). A parte líquida (soro crioconcentrado de iogurte) foi armazenada em refrigerador até o momento do uso.

Os demais ingredientes para a produção dos biofilmes foram: glicerina P.A. (Neon®), amido solúvel P.A. (Dinâmica®) e óleo mineral puro (Isofar®).

## 4.2 Produção da farinha de matéria-prima

As maçãs foram higienizadas utilizando uma solução composta por 5 L de água e 5 colheres de sopa de água sanitária. As frutas foram imersas na solução por cerca de 15 minutos, garantindo a eliminação de possíveis microrganismos e resíduos superficiais. Após esse processo, as maçãs foram enxaguadas em água corrente para remoção de qualquer resíduos sanitizantes.

Para a produção da matéria-prima denominada Farinha 1, aproximadamente 5 kg de maçã Gala foram cortadas e submetidas ao processo de branqueamento, que consistiu em breve aquecimento em micro-ondas até a visível liberação de vapor da matéria-prima. Em seguida, realizou-se um resfriamento em temperatura ambiente, através da agitação manual do fruto. Em seguida, a matéria prima foi triturada, obtendo-se o bagaço, o qual passou por um processo de lavagem e centrifugação para a remoção do excesso de açúcares. Posteriormente, o material foi submetido à secagem em estufa de circulação de ar à temperatura de 60 °C por cerca de 48 horas ou até massa constante (Fotografia 2). O bagaço foi então triturado para obtenção da farinha em liquidificador (Britânia 1050 W), como pode se ver na Fotografia 2.

**Fotografia 2 - Mesocarpo desidratado do Teste 1**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

Para a produção da matéria-prima denominada Farinha 2, aproximadamente 6 kg de maçã Gala foram raladas em processador de alimentos

industrial Siemens Modelo PA-7S. Posteriormente, foi realizado o processo de extração dos açúcares em triplicata, no qual as amostras foram submersas em água e centrifugadas sucessivamente até que o sobrenadante permanecesse incolor. Em seguida, as amostras passaram pelo processo de branqueamento, sendo submersas em água quente por aproximadamente 30 segundos, seguido de centrifugação. Em seguida, as amostras foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar a 60 °C por aproximadamente 24 horas. O bagaço seco (Fotografia 3) foi então triturado em um liquidificador (Britânia 1050W) para obtenção da Farinha 2 como ilustrado na Fotografia 4.

**Fotografia 3 – Mesocarpo desidratado do Teste 2**



Fonte: Autoria própria (2025).

**Fotografia 4 – Farinha do mesocarpo Teste 1 e Teste 2**



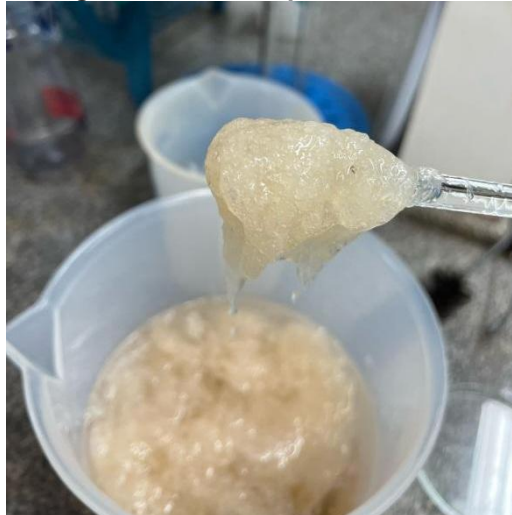
Fonte: Autoria própria (2025).

### 4.3 Extração da pectina

Para a extração da pectina, foram separados dez erlenmeyers contendo aproximadamente 4 g da Farinha de maçã 1 e 200 mL de água destilada. A solução foi aquecida em micro-ondas (Electrolux) por cerca de 1 minuto, seguida da adição de 3 mL de ácido nítrico 1 mol/L. Posteriormente, os frascos foram selados com filme plástico e mantidos sob agitação em shaker (Logen Scientific) a 150 rpm por 1 hora.

A solução foi resfriada em banho de gelo e, em seguida submersa em dois volumes de etanol 96 °GL, a 4 °C. Após a formação do gel precipitado pelo etanol (Fotografia 5), o material foi filtrado com o auxílio de tecido sintético, lavado e submetido a três filtrações consecutivas com etanol. Posteriormente, o gel foi novamente imerso em etanol 96 °GL e mantido nessas condições por overnight garantindo a completa precipitação do material. Em seguida, foi submerso à imersão em acetona por aproximadamente 15 minutos. Por fim, o gel foi prensado em tecido sintético, lavado três vezes em acetona e submetido à secagem em estufa com circulação de ar a 50 °C por cerca de 5 horas, ou até massa constante.

**Fotografia 5 – Gel de pectina em álcool**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

Na segunda extração, realizada em maior escala, foram utilizadas 20 g da amostra da Farinha de maçã 2, às quais foram adicionados 1 L de água destilada e aqueceu-se a solução até 80 °C. Em seguida, foram adicionados 100 mL de ácido nítrico 1 mol/L, e a solução foi mantida sob agitação por 30 minutos consecutivos.

Após essa etapa, a solução foi transferida para um recipiente adequado e submetida ao congelamento. Posterior ao congelamento completo, o material foi fragmentado e submetido à centrifugação para separação do gelo e da fração

líquida, rica em pectina. O líquido obtido foi então submetido à precipitação pela adição do dobro do volume de etanol 96 °GL, permanecendo em repouso por 15 minutos. Posteriormente a solução foi filtrada através de tecido sintético, submersa em acetona e submetida à agitação em triplicata; na última agitação, a amostra foi mantida submersa em acetona por 15 minutos.

Por fim, a amostra foi prensada em tecido sintético e submetida à secagem, como na Fotografia 6, em estufa com circulação de ar a 50 °C até atingir massa constante.

**Fotografia 6 – Pectina úmida (esquerda) e pectina seca (direita)**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

Para a terceira extração, realizada também em maior escala, foram utilizadas 30 g da amostra da Farinha de maçã 2, às quais foram adicionados 1,5 L de água destilada e aqueceu-se a solução até 80 °C. Em seguida, foram adicionados 75 mL de ácido nítrico 1 mol/L, e a solução foi mantida sob agitação por 30 minutos consecutivos. A concentração, a precipitação e a lavagem para obtenção da pectina foram feitos da mesma maneira que na extração 2. Por fim, a amostra foi prensada em tecido sintético submetida à secagem em estufa com circulação de ar a 50 °C até atingir massa constante.

#### **4.4 Análises da pectina**

O cálculo do rendimento da pectina obtida a partir da maçã Gala foi feito calculando a quantidade inicial de matéria-prima e a quantidade de pectina extraída, ambas em base de massa seca, conforme a equação 1 abaixo:

$$Rendimento (\%) = \frac{pectina}{matéria\ prima\ inicial} \times 100 \quad (1)$$

Para o grau de esterificação, a pectina extraída foi dispersa em água (0,05 g/100 mL) durante 24 horas, até completa homogeneização. Essa dispersão coloidal foi titulada com NaOH 0,05 mol/L até a mudança de cor na presença da fenolftaleína, registrando-se o volume inicial consumido (V1). Para realizar o processo de saponificação, que promove a desesterificação, adicionou-se exatamente 10 mL de NaOH mais concentrado (0,5 mol/L; 10 mL) à mistura, mantida em repouso por 30 minutos em estufa a 30 °C. Em seguida, a neutralização ocorreu pela adição de HCl 0,5 mol/L em volume e fatoraçoão equivalentes. A solução resultante foi titulada novamente com NaOH 0,05 mol/L, usando fenolftaleína como indicador, registrando-se o volume consumido (V2). O grau de esterificação foi calculado conforme a equação 2 (Bochek, Zabivalova, Petropavlovskii, 2001).

$$E (\%) = [ V2 \div (V1 + V2)] \times 100 \quad (2)$$

Amostras de pectina foram solubilizadas em água ultra purificada (MiliQ®) e misturadas em almofariz de porcelana com brometo de potássio de grau espectroscópico seco (1:100) até completa homogeneização. Posteriormente, foram desidratadas em estufa a 50 °C até massa constante e armazenadas em dessecador com sílica e a vácuo até o envio ao laboratório. Em seguida, foram prensadas em prensa específica para formação de pastilhas transparentes a serem analisadas. A faixa espectral utilizada estava compreendida entre 400 e 4000 cm<sup>-1</sup>. As amostras foram caracterizadas de acordo com a sua impressão digital a partir do infravermelho com transformada de Fourier - FTIR (Pierro, 2024).

A análise de microscopia eletrônica foi realizada por técnica de varredura (SEM) na amostra de pectina fibrosa finamente fragmentada. As amostras foram acondicionadas em câmara específica do equipamento Hitachi, Modelo TM 3000, sendo as imagens geradas com magnificação de 150, 1500 e 2000 vezes (Olimpio *et al.*, 2020).

#### **4.5 Produção do biofilme**

A metodologia utilizada para o preparo do filme foi baseada em Fakhouri *et al.*, (2007) com modificações.

O soro de iogurte, após a crioconcentração, apresentou teor de sólidos solúveis médio de 7,8 e concentração de cerca de 1/3 do volume.

Para o processo de produção do filme, foi diluída a primeira extração de pectina (maior concentração de ácido) para a produção de biofilme 2% com soro crioconcentrado e glicerol. Foram produzidos filmes testes com diferentes concentrações de glicerol, dentre eles 0,4 mL, 0,6 mL e 1,2 mL de glicerina, e também foram feitos testes com amido, dentre eles:

- Teste 1: 0,5 g de amido úmido, 15 mL de pectina, 15 mL de soro do iogurte crioconcentrado e 0,3 mL de glicerina;
- Teste 2: 15 mL de soro do iogurte crioconcentrado, 15 mL de pectina e 0,6 mL de glicerina;
- Teste 3: 20 mL de soro do iogurte crioconcentrado, 20 mL de pectina e 0,4 de glicerina;
- Teste 4: 20 mL de soro do iogurte crioconcentrado, 20 mL de pectina e 1,2 mL de glicerina;
- Teste 5: primeira e terceira camadas constituídas por 0,5 g de amido úmido, 15 mL de pectina e 0,3 mL de glicerina; segunda camada com 15 mL de soro, 0,5 g de amido úmido e 0,3 de glicerina,
- Teste 6: primeira e terceira camadas com 1,5 g de amido úmido, 45 mL de pectina e 0,9 mL de glicerina e segunda camada (intermediária) com 45 mL de soro, 1,5 g de amido umedecido e 0,9 mL de glicerina.

Após homogeneização, as dispersões foram despejadas no molde (placa de poliestireno estéril 90 x 15mm) e posteriormente levada à estufa de circulação de ar a 50 °C até massa constante. O mesmo processo foi feito para o teste com 0,6 g e 1,2 g de glicerina. Também foi feito outro teste com 15 mL de pectina, 15 mL de soro, 0,4 g de glicerina e 0,5 g amido umedecido.

Para a produção dos filmes principais, foi tomada a decisão de fazer o filme em camadas com diferentes concentrações de pectina, dentre elas 1%, 2% e 3%. Após a diluição em banho maria com agitação constante das diferentes dispersões de pectina, foram feitos os filmes. Na primeira camada, foram utilizados 15 mL de pectina solubilizada, 0,4 g de glicerina e 0,5 g de amido umedecido, a segunda camada contém 15 mL de soro, 0,4 g de glicerina e 0,5 g de amido umedecido e a terceira as mesmas quantidades que a primeira.

Para a produção da primeira camada foi produzida uma dispersão coloidal, levada ao micro-ondas de 5 em 5 segundos para gelatinização do amido. Em

seguida, a dispersão foi para o molde (placa de poliestireno estéril 90 x 15 mm) e para a secagem na estufa com circulação a 50 °C até massa constante. A segunda camada foi produzida e passou pelo mesmo processo, sendo sobreposta sobre a primeira e levada à estufa de circulação para formação do filme até massa constante. Foi repetido o mesmo processo para a terceira camada sobreposta sobre a segunda.

## 4.6 Propriedades do biofilme

### 4.6.1. Espessura

A metodologia utilizada para a espessura foi baseada em Fakhouri *et al.*, (2007). Utilizando um micrômetro digital, a espessura foi determinada medindo o valor dessa grandeza em cinco posições aleatórias do filme. O resultado final foi a média aritmética dos valores resultantes.

### 4.6.2. Umidade

Para a análise da umidade foi utilizada a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), com algumas alterações. Utilizando os dados da massa inicial ( $m_i$ ) e final ( $m_f$ ) obtidas, foi determinado, com o auxílio da Equação 3, o percentual de umidade (U).

$$U (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (3)$$

### 4.6.3. Solubilidade

A metodologia utilizada para a solubilidade foi baseada em Fakhouri *et al.*, (2007) com modificações.

A solubilidade em água dos filmes foi determinada em triplicata, sendo que amostras dos filmes foram recortadas em retângulos de 0,2 g. As amostras foram levadas à estufa a 105 °C por 24 horas, para determinação da massa inicial. Após a primeira pesagem, as amostras foram imersas em recipientes contendo 50 mL de água destilada, e agitadas lenta e periodicamente em shaker a 150 rpm por 24 horas a 25 °C. Após este período, as amostras foram removidas e novamente desidratadas a 105 °C por 24 horas para determinar a massa da matéria seca que não se dissolveu em água.

Em seguida, utilizando os dados da massa inicial ( $m_i$ ) e final ( $m_f$ ) obtidas, foi determinado, com o auxílio da Equação 4, o percentual de massa seca solubilizada (MSS).

$$MSS (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (4)$$

#### 4.6.4. Cor

Esta análise foi determinada a partir da metodologia de Konica Minolta (2023), utilizando um colorímetro portátil (marca Chroma Meter CR-400), o qual determina o grau de luminosidade ( $L^*$ ), sendo de 0 a 50, amostra mais escura, e de 51 a 100, amostra mais clara. A intensidade da cor verde e vermelha ( $a^*$ ), vai de -60 a +60, sendo que números positivos indicam a coloração vermelha e número negativos indicam a coloração verde; já a intensidade da cor amarela e azul ( $b^*$ ), também de -60 a +60, os valores positivos indicam a coloração amarela e valores negativos indicam a coloração azul.

A análise de cor dos biofilmes foi realizada em triplicata com o colorímetro portátil, utilizando o sistema CIE  $L^*a^*b^*$ . Os filmes foram colocados sobre uma superfície branca e em seguida foram efetuadas as leituras.

#### 4.6.5. Propriedades mecânicas

Para análise das seguintes propriedades mecânicas (tração e percentual de alongação na ruptura), os filmes foram cortados em retângulos com dimensões 5 x 2 cm para inserção entre as garras do texturômetro (Stable Micro System - Modelo TA.XT2). Os parâmetros utilizados foram de 30 mm para a distância entre garras; pré-teste de 10 mm/s; velocidade do teste de 1 mm/s e velocidade pós teste de 10 mm/s.

Utilizou-se a Equação 5 para o cálculo da tensão de ruptura, em que  $\tau$  representa a tensão de ruptura (Pascal),  $F$  é a força máxima no rompimento (Newton) e  $A$  é a área da seção transversal do filme ( $\text{mm}^2$ ) (Ramos, 2021).

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (5)$$

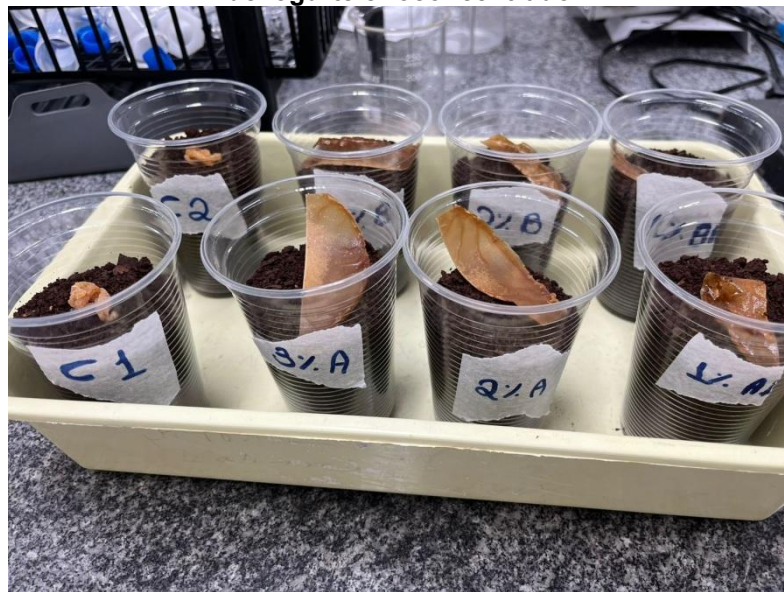
O percentual de alongação dos filmes foi obtido utilizando-se a Equação 6, no qual  $\varepsilon$  representa o percentual de alongação,  $D_o$  e  $D$  a distância inicial e final de separação das garras (cm):

$$\varepsilon (\%) = \frac{D}{D_0} \times 100 \quad (6)$$

#### 4.6.6. Biodegradabilidade

Para o teste de biodegradabilidade, como ilustrado na Fotografia 7, foi pesado aproximadamente cerca de 0,7 g de cada filme produzido, em duplicata. Em seguida, os fragmentos dos biofilmes foram enterrados em húmus comercial, composto por esterco bovino e serragem de madeira. Os testes foram umedecidos com cerca de 2 mL de água borrifados diariamente. A pesagem dos fragmentos para documentar as mudanças ocorridas ao longo do tempo foi feita a cada três dias, bem como inspeção visual periódica. Esse sistema foi mantido em temperatura ambiente em local com incidência de sol.

**Fotografia 7 – Teste de biodegradabilidade dos biofilmes com pectina de maçã, amido e soro de iogurte crioconcentrado**



Fonte: Autoria própria (2025).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises da extração de pectina

#### 5.1.1 Rendimento

Os valores obtidos do rendimento no processo de extração da pectina estão apresentados na Tabela 1, assim como o rendimento médio.

**Tabela 1– Rendimentos obtidos**

Teste	Rendimento (%)	Rendimento Médio (%)*
1	3,9	5,3 ± 0,99
2	6,7	

\*Média ± desvio padrão

**Fonte: Aatoria própria (2025)**

Estudos mostram que esses valores estão significativamente abaixo dos observados na literatura. Fertoni *et al.* (2006) avaliaram a extração de pectina do bagaço da maçã utilizando ácido nítrico a 100 mmol/L, com aquecimento a 97 °C por 10 minutos, e obtiveram rendimentos variando de 14,17% a 16,09%. Segundo os autores, rendimentos mais elevados estão associados ao uso de concentrações moderadas de ácido e temperaturas próximas ao ponto de ebulição da água.

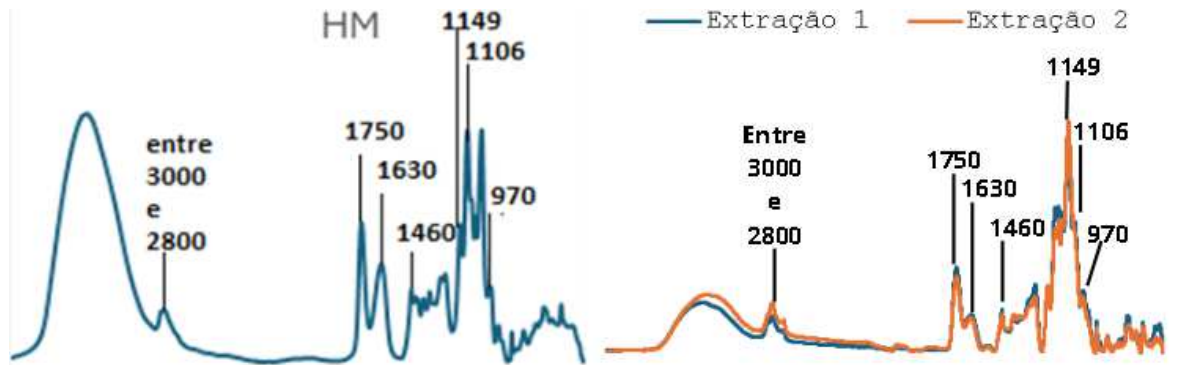
O estudo de Marcon *et al.* (2005), utilizando ácido cítrico a 5% (p/v) como agente extrator em extração a 100 °C por até 80 minutos, obtiveram rendimentos de 5,7% a 16,8%. O maior rendimento foi alcançado com tempo e temperatura máximos, demonstrando que a eficiência da extração está relacionada à intensidade térmica aplicada.

A comparação com esses estudos evidencia que a temperatura mais baixa (75-80 °C) e o tempo relativamente curto (30 minutos) utilizados nos experimentos aqui apresentados podem ter sido insuficientes para a completa solubilização da pectina presente na matriz vegetal. Ainda, o uso de ácido nítrico em concentração elevada pode ter contribuído para a hidrólise excessiva das cadeias de pectina, o que compromete a sua precipitação e, conseqüentemente, o rendimento.

#### 5.1.2 Espectroscopia de infravermelho-final

Para confirmação se a substância isolada era amostra de pectina, esta foi analisada por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier, que permite a identificação dos grupos funcionais em diferentes regiões do espectro.

**Figura 4 – Espectro de infravermelho das amostras de pectina de maçã (a direita) é comparadas a pectina comercial HM (a esquerda)**



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 4, demonstra-se o espectrograma obtido a partir da amostra de pectina analisada, com os principais comprimentos de onda indicados numericamente no espectro da pectina comercial HM.

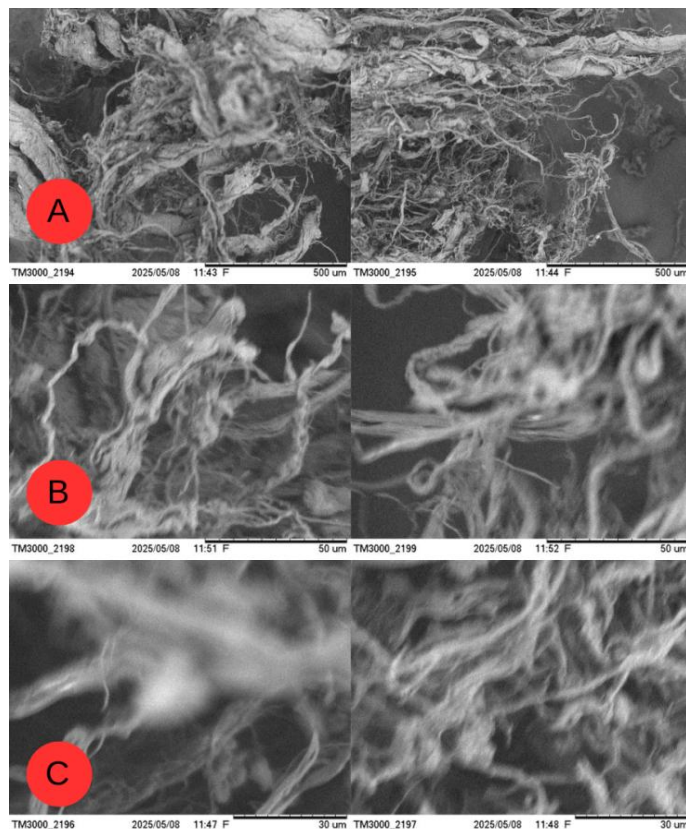
Os picos entre 3000 e 2800  $\text{cm}^{-1}$  estão associados às ligações C-H e  $\text{CH}_3$  dos grupos ésteres metílicos. A região característica de grupos carboxílicos (1750-1350  $\text{cm}^{-1}$ ) aparece claramente. Para pectinas é muito importante atentar para a banda esterificada C=O (1750  $\text{cm}^{-1}$ ) e o grupo carboxilato COO<sup>-</sup> (1600-1650  $\text{cm}^{-1}$ ), relacionadas à determinação do grau de esterificação (GE) desses compostos. Tais grupamentos são responsáveis por definir muitas de suas propriedades, como força e velocidade de formação de géis a partir de suas soluções (De Souza *et al.*, 2017; Szymańska-Chargot *et al.*, 2024). A 1460  $\text{cm}^{-1}$ , pode observar-se uma banda de carboxilato mais fraca, mais evidente em pectina altamente esterificada. O pico a 1149  $\text{cm}^{-1}$  é característico das vibrações C-O-C das ligações glicosídicas e das estruturas da espinha dorsal da pectina. Os picos a 1106 devem-se ao elevado teor de homogalacturonana (especificamente devido a vibrações C-C, C-O, CCH, OCH). Uma faixa adicional a 970  $\text{cm}^{-1}$  indica o grau de esterificação (Kumar; Chauhan, 2010)

As faixas espectrais das amostras de pectina de maçã, incluindo as bandas de vibração da espinha dorsal e do grupo lateral, puderam ser identificadas e confirmaram a impressão digital de pectina com alto teor de metoxila, com grau de esterificação superior a 50% (Sato *et al.*, 2011). De acordo com Gnanasambandam e Proctor (2000), uma pequena diferença na estrutura e composição de uma molécula pode resultar em alterações significativas nos picos de absorção. Portanto,

espera-se que amostras da mesma fonte/origem apresentem menores variações espectrais de FTIR, como observado neste trabalho.

Na Fotografia 8, é possível inferir que a pectina aparenta ter filamentos longos, associados à uma rede polimérica, reforçando o caráter de fibra desse composto extraído (Voragen; Coenen; Verhoef, 2009).

**Fotografia 8 – Microeletrografia de varredura de pectina amplificada 150 vezes (A), 1500 vezes (B) e 2000 vezes (C)**



Fonte: Autoria própria (2025).

### 5.1.3 Grau de esterificação

O grau de esterificação das amostras foi calculado e encontra-se na Tabela 2.

**Tabela 2 – Grau de esterificação da pectina de maçã utilizada para produção do biofilme**

Teste	GE (%)	Média (%)*
1	82,50	89,37 ± 2,30
2	91,93	
3	88,67	

\*Média ± desvio padrão

Fonte: Autoria própria (2025).

O grau médio de esterificação (GE) da pectina apresentou valor que se enquadra com alto grau de metoxilação (superior a 50%). Segundo Canteri (2010), ao comparar pectinas extraídas de diferentes matrizes sob condições padronizadas, a pectina proveniente do bagaço da maçã apresentou o maior grau de esterificação entre todas as fontes avaliadas, embora o rendimento de extração tenha sido menor. Esse comportamento evidencia que, mesmo com menor produtividade, a pectina da maçã possui características estruturais favoráveis, como maior teor de metoxilação e, conseqüentemente, maior capacidade de formar geis em meio com alto teor de açúcar e pH ácido. O valor obtido neste estudo foi superior ao reportado por Canteri (2010), que em extração com ácido nítrico a 50 mM, 80 °C e 20 minutos, obteve uma pectina com GE de 79%, o mais elevado dentre as amostras analisadas. Isso sugere que as condições adotadas neste trabalho foram eficazes na preservação dos grupos metílicos da pectina, fator que impacta positivamente na sua funcionalidade para aplicações alimentícias como gelificantes e espessantes.

## 5.2 Biofilmes produzidos

Do teste 1 ao 6, foram produzidas misturas com diferentes concentrações de soro de iogurte crioconcentrado, glicerina e alguns com amido, de acordo com o item 4.6. Os testes iniciais dos filmes não foram satisfatórios, como ilustrado na Fotografia 9.

Fotografia 9 – Testes falhos dos biofilmes



Fonte: Autoria própria (2025).

Esses filmes, quando misturados com o soro de iogurte crioconcentrado, ao saírem da estufa estavam secos, porém com o decorrer do tempo, em função de sua alta higroscopicidade, absorveram umidade do ambiente e ficavam com aspecto grudento.

Optou-se por testar a produção em camadas, sendo a camada 1 e 3 pectina e a camada 2 soro de iogurte. A partir desta decisão os testes em camadas foram feitos, como ilustrado na Fotografia 10.

**Fotografia 10 – Testes em camadas dos biofilmes**



**Fonte: Aatoria própria (2025).**

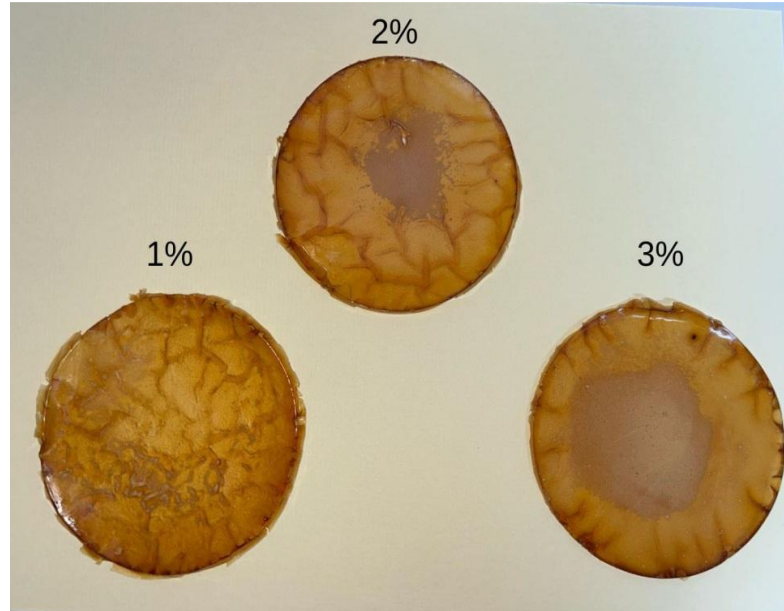
Os testes em camadas apresentaram aparência e texturas mais agradáveis, porém ainda apresentaram inconsistências. O teste 5 resultou em um biofilme seco, agradável ao toque e levemente elástico, porém o amido não foi totalmente diluído, sendo possível sua visualização após a secagem. O teste 6 também apresentou consistência agradável, porém apresentou rachaduras após a sobreposição da segunda camada rica em soro, provavelmente por não ter se aguardado a pasta posterior ao aquecimento em microondas resfriar, sendo vertida ainda quente sobre a primeira camada.

Após os testes em camadas, decidiu-se que os teste oficiais seriam feitos de acordo com as quantidades do teste 5.

Os filmes produzidos apresentaram aspecto inesperado, como ilustrado na Fotografia 11, com protuberâncias principalmente nos filmes de 1% e 2% de pectina e sem resultado homogêneo com a diluição do amido. Entretanto apresentaram boa resistência e maleabilidade, aspectos desejáveis para os biofilmes. Constatou-se que as protuberâncias ocorreram devido à segunda camada ser sobreposta ainda

quente sobre a primeira, fazendo com que a primeira camada se misturasse com a segunda e a posterior a secagem na estufa ficasse irregular.

**Fotografia 11 – Aspecto visual do primeiro teste dos biofilmes**

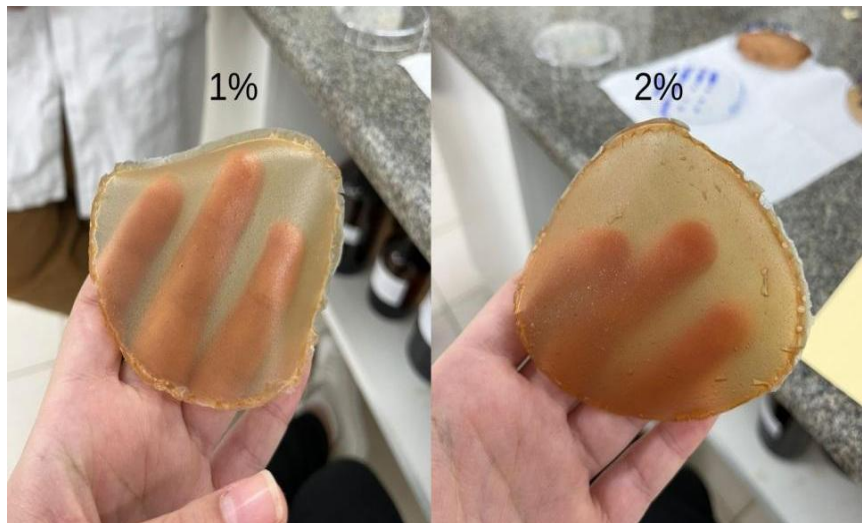


**Fonte: Autoria própria (2025).**

Como o resultado obtido foi insatisfatório, optou-se por fazer o teste novamente, porém devido à alta viscosidade da concentração de 3%, com dificuldade para diluição e produção da dispersão coloidal e por não ser tão economicamente vantajosa, optou-se por não fazer o segundo teste nesta concentração.

O resultado do segundo teste com 1% e 2% de pectina, como ilustrado na Fotografia 12, apresentou biofilmes agradáveis de tocar, maleáveis e resistentes.

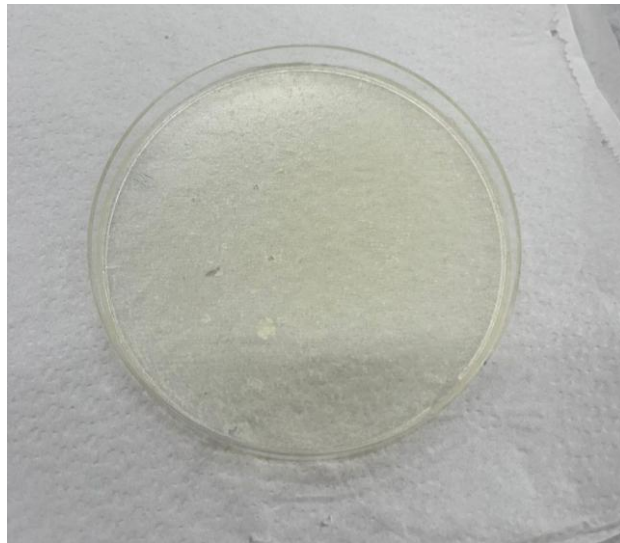
**Fotografia 12 – Aspecto visual do segundo teste dos biofilmes**



**Fonte: A autoria própria (2025).**

Também foi produzido um biofilme controle, produzido somente com soro de iogurte crioconcentrado, amido e glicerol (Fotografia 13), em uma única camada.

**Fotografia 13 – Aspecto visual do biofilme controle**



**Fonte: A autoria própria (2025).**

Esse apresentou algumas bolhas e demonstrou-se higroscópico, pois com o passar de alguns minutos fora da estufa, o filme resultou em textura grudenta e dificuldade para a remoção da placa de petri.

### **5.3 Análises físico-químicas dos biofilmes**

Os resultados da espessura dos biofilmes desenvolvidos e do biofilme controle, encontram-se apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas dos biofilmes de pectina de maçã**

Teor de pectina	Espessura (mm)*	Umidade (%)*	Solubilidade (%)*	L*	a*	b*
0% (controle)	0,49 ± 0,04	23,4 ± 0,027	83,7 ± 0,37	78,9 ± 0,35	2,9 ± 0,14	2,1 ± 0,30
1%	0,47 ± 0,03	22,1 ± 0,300	72,9 ± 0,33	70,8 ± 1,39	6,9 ± 0,36	26,2 ± 1,24
2%	0,73 ± 0,12	20,4 ± 0,023	73,7 ± 2,37	61,4 ± 1,88	14,9 ± 0,40	38,6 ± 3,5
3%	0,63 ± 0,03	15,0 ± 0,005	69,0 ± 2,55	61,4 ± 0,8	16,3 ± 0,33	36,8 ± 2,0

\*Média ± desvio padrão; L\* Grau de luminosidade; a\* Intensidade da cor verde e vermelha; b\* intensidade da cor amarela e azul.

**Fonte: Autoria própria (2025).**

Observou-se que a espessura média dos filmes produzidos (0,60 mm ± 0,07) foi cerca de 23% mais elevada que a do filme controle. Os valores de espessura podem variar dependendo da quantidade de líquido despejado sobre a placa.

Segundo as pesquisas de Fakhouri *et al.* (2007), seus filmes apresentaram espessura média de 0,058 mm, enquanto que no trabalho de Jacobs (2020) estavam na faixa de 0,35 mm. Esses resultados apresentaram diferenças consideráveis em relação aos resultados deste trabalho. Pode-se explicar essa ocorrência devido aos filmes serem produzidos em camadas, fazendo com que sua espessura final fosse maior. Outro possível motivo pode ser a secagem com baixa uniformidade, gerando algumas partes do filme com mais espessura.

Com os resultados apresentados na Tabela 3 é possível analisar que o filme controle, sem adição de pectina, apresentou o maior percentual de umidade, com resultado que se aproximam aos de Soares (2016), entre 25 e 27%, em filme à base de proteína do soro de leite. Observa-se que à medida que aumentou a concentração de pectina, houve uma redução gradual na umidade dos filmes, alcançando o menor valor com 3% de pectina. Essa tendência também foi observada nos filmes desenvolvidos por Bierhalz (2010), onde apresentou teor de umidade entre 13 e 18%, em formulações com pectina e alginato. A redução da umidade pode estar relacionada à maior compactação da matriz polimérica proporcionada pela presença de pectina, que limita a retenção de água livre nos filmes. Ainda que a pectina seja uma substância hidrofílica, seu efeito estruturante, quando associado ao amido e plastificantes, tende a formar uma rede polimérica mais densa, com menor capacidade de retenção de umidade, como observado também nos trabalhos de Altmann *et al.* (2018).

Observou-se uma tendência de redução da solubilidade com o aumento da concentração de pectina. Embora a pectina seja um polímero naturalmente hidrofílico, sua presença em maior proporção parece ter promovido a formação de uma matriz polimérica mais densa e coesa, o que dificultou a difusão da água no interior dos filmes e, conseqüentemente, reduziu sua solubilidade.

Esses achados corroboram os resultados de Jacobs *et al.* (2020), que observaram redução da solubilidade de filmes de amido com a adição de polpa de acerola – rica em fibras, pectina e celulose – passando de 30% (sem acerola) para 24% com 50% de acerola. Os autores atribuíram essa redução ao efeito estruturante e reforçador da acerola na matriz polimérica, que aumentou a resistência do filme à dissolução. Por sua vez, Barros (2019), em estudo com filmes elaborados a partir da pectina extraída do mesocarpo de pequi, relatou solubilidade total em água. Contudo, o sistema investigado era constituído por pectina pura, sem a presença de outros agentes formadores de filme.

No presente trabalho, a presença simultânea de amido, glicerina e soro de iogurte, associados à pectina da maçã Gala, parece ter promovido interações intermoleculares complexas (por ligações de hidrogênio), gerando uma rede mais compacta e menos suscetível à solubilização completa em água. Portanto, os resultados obtidos demonstraram que a incorporação da pectina da maçã Gala aos filmes não apenas contribuiu para uma leve melhora na integridade da matriz frente à hidratação, mas também se mostrou eficiente na redução da solubilidade, especialmente em concentrações acima de 2%. Esses dados indicam que a pectina, quando utilizada em equilíbrio com outros biopolímeros como amido e plastificantes como glicerina, atua como agente estruturante eficaz na produção de biofilmes com solubilidade controlada, o que pode ser vantajoso para aplicações em embalagens com resistência moderada à umidade.

Foi possível analisar que o biofilme controle, feito somente com soro de iogurte, com o passar do tempo escurecia. Após cerca de 1 semana em repouso em recipiente fechado, apresentou redução na luminosidade ( $L^*=63,6 \pm 0,76$ ) e aumento nos demais parâmetros de cor, sendo  $a^*$  de  $15,8 \pm 0,40$  e  $b^*$  de  $34,2 \pm 2,63$ , com maior alteração no parâmetro  $b^*$  responsável pela cor amarelada.

Com base nos resultados, é possível analisar que tanto o filme controle quanto os filmes produzidos a base de pectina apresentaram o grau de luminosidade entre 51 e 100, que indica que as amostras são claras, sugerindo que os filmes

fabricados apresentaram ser mais escuros e menos translúcidos com o aumento do teor de pectina.

Em relação ao parâmetro  $a^*$ , as amostras de pectina apresentaram valores positivos, indicando uma maior tendência à cor vermelha em comparação ao filme controle. Sobre a intensidade do parâmetro  $b^*$ , as amostras também obtiveram resultados positivos indicando coloração amarela. Entretanto, ao serem analisados a olho nu, nos biofilmes como nas Fotografias 12 e 13, é possível visualizar que ambos apresentaram a coloração clara e amarelada, porém sobre a intensidade vermelha acaba por não ser possível visualizar sem o colorímetro.

### 5.2.1. Propriedades mecânicas

Os resultados obtidos da tensão de ruptura e da elongação estão na Tabela 4 a seguir.

**Tabela 4 – Resultados de tensão de ruptura e elongação**

<b>Amostra</b>	<b>Tensão de ruptura (MPa)*</b>	<b>Percentual de elongação (%)*</b>
0% (controle)	0,036 ± 0,0009	98,70 ± 0,25
1%	0,339 ± 0,2134	39,98 ± 24,53
2%	0,717 ± 0,3732	46,92 ± 13,04
3%	1,626 ± 0,2774	29,83 ± 8,65

\*Média ± desvio padrão

**Fonte: Autoria própria (2025).**

A tensão de ruptura dos filmes apresentou aumento progressivo conforme a elevação da concentração da pectina. O filme controle com 0% de pectina, produzido com soro de iogurte, amido e glicerina, apresentou o menor valor de resistência, o que indica uma estrutura polimérica frágil e pouco coesa. Esses dados mostram que a pectina contribuiu para o reforço da matriz do filme, resultando em maior resistência à tração. Resultados semelhantes foram observados por Bedregal *et al.*, (2023), que ao utilizarem amido de arroz, pectina e goma de tara, relatam tensões de ruptura variando entre 2,08 e 5,51 MPa, valores mais elevados em comparação com os deste trabalho, o que pode ser atribuído à presença da goma e à maior proporção de agentes gelificantes. Por outro lado, Fatma *et al.* (2015), ao estudarem filmes com soro de leite dangke, ágar e diferentes concentrações de glicerol, observaram queda na força máxima suportada pelos filmes de 12,98 N para 4,47 N, com o aumento de plastificante, o que reforça a ideia de que, na ausência de

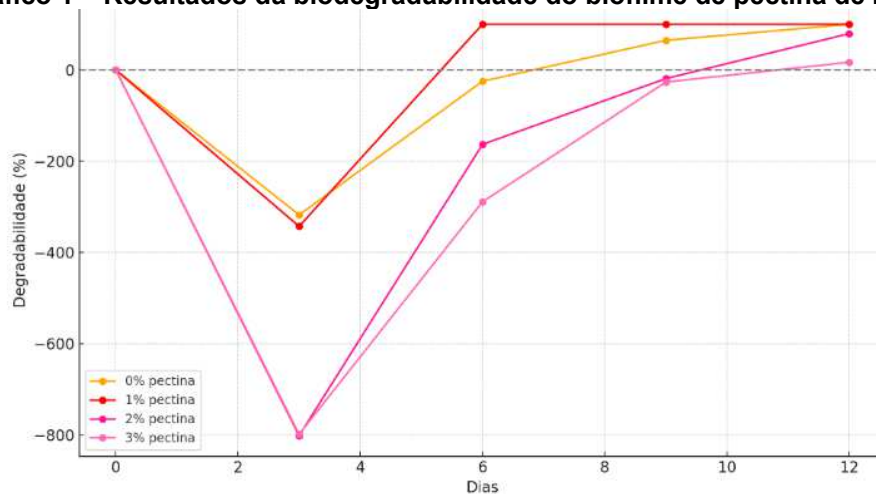
reforço estrutural como a pectina, os filmes apresentam menor resistência - como ocorreu no filme controle deste estudo.

O comportamento do percentual de alongação apresentou tendência inversa à tensão de ruptura. O filme controle obteve o maior valor de alongamento, refletindo a elevada flexibilidade conferida pela presença de glicerina e pela ausência de redes poliméricas densas. Com a adição de pectina, houve redução progressiva do alongamento. Esse comportamento é coerente com a formação de uma matriz mais rígida e menos deformável à medida que a pectina aumenta, restringindo a mobilidade das cadeias poliméricas. Bedregal *et al.*, (2023) observaram alongamentos variando de 40,74% a 71,34% em filmes com diferentes proporções de glicerol e pectina, valores comparáveis aos das amostras com 1% e 2% de pectina deste estudo. Já Fatma *et al.* (2015) reportaram um aumento na alongação de 35,83% para 77,78% com o acréscimo de glicerol, reforçando que a presença do plastificante aumenta a flexibilidade da matriz, como observado no filme controle. Portanto, os resultados obtidos neste trabalho seguem a tendência esperada da literatura: o aumento do teor de pectina melhora a resistência mecânica, mas compromete a deformidade do filme.

### 5.2.2. Biodegradabilidade

No gráfico 5, é possível visualizar a variação do percentual de degradabilidade dos biofilmes.

**Gráfico 1 – Resultados da biodegradabilidade do biofilme de pectina de maçã**



Fonte: Autoria própria (2025).

A curva de variação de massa ao longo dos doze dias revelou um comportamento de aumento da massa no terceiro dia, em relação ao valor inicial

(dia 0). Esse padrão foi observado principalmente nas formulações de 2% e 3% de pectina, cujos valores de massa chegaram a ultrapassar mais de 700% em relação ao peso inicial. Esse comportamento é relatado por Azevedo (2016), que apresentou o mesmo aumento de massa inicial no teste de biodegradabilidade, que pode estar relacionado ao fato dos filmes apresentados serem compostos por polímeros hidrofílicos, como pectina, amido e glicerina, com elevada capacidade de absorver água, além dos compostos orgânicos presentes no húmus antes da degradação propriamente dita.

O filme controle, sem pectina, atingiu 100% de biodegradabilidade ao final do ensaio, com perda expressiva já nos primeiros seis dias. Entretanto, o biofilme 1% foi totalmente degradado até o sexto dia do experimento, apresentando uma degradação ainda mais rápida. Conforme o tempo avançou, os dados indicaram degradação efetiva da matriz polimérica, especialmente na formulação de 3% que com os maiores índices de perda acumulada até o 12<sup>o</sup> dia.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a viabilidade do uso da pectina extraída da maçã Gala, em combinação com amido e soro de iogurte crioconcentrado, na produção de biofilmes biodegradáveis com propriedades físico-químicas e mecânicas adequadas para potenciais aplicações em embalagens sustentáveis. A extração da pectina apresentou rendimento médio de 5,3%, sendo inferior ao relatado na literatura, o que pode ser atribuído às condições moderadas de temperatura e tempo utilizadas. No entanto, o grau de esterificação obtido (89,37%) indica uma pectina de alta metoxilação, com características estruturais favoráveis para a formação de biofilmes.

Os biofilmes desenvolvidos apresentaram redução gradual da umidade e da solubilidade com o aumento da concentração de pectina, resultado atribuído à formação de uma matriz polimérica mais densa e coesa. Os parâmetros de cor revelaram aumento na intensidade das cores vermelha ( $a^*$ ) e amarela ( $b^*$ ), à medida que a concentração de pectina aumentou, enquanto o grau de luminosidade ( $L^*$ ) decresceu.

Nas análises mecânicas, a tensão de ruptura aumentou proporcionalmente à concentração de pectina, evidenciando maior resistência dos filmes, enquanto o percentual de alongação foi reduzido, o que confirma o enrijecimento da matriz polimérica com a maior presença de pectina. O teste de biodegradabilidade indicou que todos os biofilmes se degradaram ao longo do tempo, com destaque para os filmes com 1% e 3% de pectina, que apresentaram os melhores índices de degradação.

Portanto, os resultados obtidos neste estudo reforçam o potencial de aproveitamento de resíduos agroindustriais, como o bagaço da maçã e o soro de iogurte, na produção de materiais biodegradáveis, com propriedades promissoras para aplicação em embalagens ecologicamente corretas.

## REFERÊNCIAS

- AIDER, M.; OUNIS, W. B. Skim milk cryoconcentration as affected by the thawing mode: gravitational vs. microwave-assisted. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 195-202, jan. 2012. Acesso em: 23 jan. 2025.
- ALTMANN, I.; ATZ, N. R.; ROSA, S. M. L. Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos a partir de amido de milho: uma proposta experimental de produção de biofilmes em sala de aula. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 53-58, fev.2018. Acesso em 26 maio 2025.
- ANDRADE, S. A. C.; *et al.* Emprego de revestimentos comestíveis de alginato e pectina de baixa metoxilação em alimentos: Revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 26, n. 1, p. 41-50, jun. 2008. Acesso em: 14 jan. 2025
- ANDREANI, L. **Propriedades térmicas, mecânicas e estabilidade de filmes de pectina cítrica e poli(4-estirenosulfonato de sódio)**. 2005. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Florianópolis, 2005. Acesso em: 14 jan. 2025.
- ASEVEDO, E. A. **Elaboração de cobertura filmogênica à base de pectina extraída da casca do cajá para revestimento em frutas**. 2018. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Acesso em: 25 jan. 2025.
- AZEVEDO, J. B.; *et al.* Avaliação da Biodegradação em Compósitos com Fibras Naturais através de Perda de Massa e Produção de CO<sub>2</sub>. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 4, p. 1115-1129, ago. 2016. Acesso em: 17 jun. 2025.
- BARBOSA, R.; *et al.* Perfil espectroscópico e cromatográfico do óleo da maçã fuji e gala. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 6, n. 1, p. 630-639, 2012. Acesso em: 24 jan. 2025.
- BARROS, Marcos Andre et al. **Análise físicas e reológicas de biofilme obtido através do mesocarpo externo do pequi (Caryocar brasiliense Camb)**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Tecnologia de Alimentos Ciências dos alimentos, Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2019. Acesso em: 08 jun. 2025.
- EMBRAPA. Embalagens de plástico verde reduzem desperdício e dão mais segurança. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/1967385/embalagens-de-plastico-verde-reduzem-desperdicio-e-dao-mais-seguranca>. Acesso em: 21 dez. 2024.

BIERHALZ, A. C. K. **Confecção e Caracterização de Biofilmes Ativos à Base de Pectina BTM e de Pectina BTM/Alginato Reticulados com Cálcio**. 2010. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2010. Acesso em: 26 maio 2025.

BOCHEK, A. M.; ZABIVALOVA, N. M.; PETROPAVLOVSKII, G. A. Determination of the esterification degree of polygalacturonic acid. **Russian Journal of Applied Chemistry**, v. 74, p. 796-799, 2001. Acesso em: 5 dez. 2024.

BRITO, G. F.; *et al.* Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista eletrônica de materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011. Acesso em: 19 nov. 2024.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. **Ciência dos polímeros**. 3. ed. São Paulo: Artiber editora, v. 24, 2002. Acesso em: 14 jan. 2025.

CANTERI, M. H. G.; *et al.* Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**, v. 22, p. 149-157, 2012. Acesso em: 21 dez. 2024.

CARVALHO, J. T.; *et al.* Produção de plástico biodegradável a partir de Aloe vera e Ipomoea batatas (L.). **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 12, p. 33635 – 33650, 2023. Acesso em: 25 jan. 2025.

CARVALHO, L. A.; SALUM, T. F. C.; VALADREAS, L. F. **As contribuições dos materiais biodegradáveis para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2022. Acesso em: 25 jan. 2025.

CEPEA USP/ESALQ. **Anuário HF Brasil: retrospectiva 2023, perspectiva 2024**. Paracibaba: CEPEA USP/ESALQ, 2023 . Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/anuario-hf-brasil-retrospectiva-2023-perspectiva-2024.aspx>. Acesso em 26 dez. 2024.

CONDE, L. M. S. **Polímeros naturais para aplicações biomédicas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Especialização em Química Medicinal - Universidade do Minho, Portugal, 2011. Acesso em: 15 nov. 2024.

DA SILVA LAMBERT, A. B. Extração e caracterização da pectina de maçã gala (*Malus domestica* Bork). **Publicações**, 2023. Acesso em: 20 nov. 2024.

DE GEUS, L. M. M.; GOLTZ, G.; CRISTINE, C. Caracterização nutricional de amostras de bagaço de maçã industrial e laboratorial. **Scientia Rural**, Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE, 9ª ed., jan-jul. 2014. ISSN 2178-3608. Acesso em: 21 nov. 2024.

DE SOUSA, André L. N.; *et al.* Modificação química da pectina do melão caipira (*Cucumis melo* var. *Acidulus*). **Química Nova**, v. 40, p. 554-560, 2017. Acesso em: 15 jun. 2025.

DEHGHANI, S.; HOSSEINI, S. V.; REGENSTEIN, J. M. Edible films and coatings in seafood preservation: A review. **Food chemistry**, v. 240, p. 505-513, 2018. Acesso em: 24 jan. 2025.

DUARTE, W. J. B. Lixo Plástico: Uma Ameaça À Vida Marinha. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 8, p. 22-31, 2022. Acesso em: 21 dez. 2024.

FAKHOURI, F. M.; *et al.* Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Food science and technology**, v. 27, p. 369-375, 2007. Acesso em: 13 jan. 2025.

FATMA, F.; MALAKA, R.; TAUFIK, M. Characteristics of Edible Film Made From Dangke Whey and Agar Using Different Percentage of Glicerol. **Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan**, v. 4, n. 2, p. 63-69, 2015. Acesso em: 14 jun. 2025.

FERREIRA, B. M. R.; *et al.* Production of biodegradable films from fruit and vegetable waste: an updated review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. e54311528544, 2022. Acesso em: 15 jan. 2025.

FERTONANI, H. C. R.; *et al.* Influência da concentração de ácidos no processo de extração e na qualidade de pectina de bagaço de maçã. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.l.], v. 27, n. 4, p. 599-612, 2006. Acesso em: 01 jun. 2025

GALGANI, F.; *et al.* Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. **ICES Journal of Marine Science**, v. 70, p. 1055–1064, 2013. Acesso em: 16 jan. 2025.

GIANCONE, T.; *et al.* Effect of surface density on the engineering properties of high methoxyl pectin-based edible films. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 7, p. 1228-1236, 2011. Acesso em: 16 jan. 2025.

GNANASAMBANDAM, R.; PROCTOR, A. Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 68, n. 3, p. 327-332, 2000. Acesso em: 15 jun. 2025.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 231-240, 2008. Acesso em: 21 dez. 2024.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed., 1. ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 1020. Disponível em: <https://www.ial.sp.gov.br/ial/publicacoes/livros/metodos-fisico-quimicos-para-analise-de-alimentos>. Acesso em: 26 maio 2025.

JACOBS, V.; *et al.* Produção e caracterização de biofilmes de amido incorporados com polpa de acerola. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 21, n. 3, p. 107-119, 2020. Acesso em: 22 maio 2025.

JESUS, L. S.; *et al.* **Produção de biofilmes à partir do mesocarpo externo do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb).** 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2017. Acesso em: 14 jan. 2025.

Kaza, S.; *et al.* **What a Waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050.** Washington: World Bank, 2018. Acesso em: 14 jan. 2025.

KUMAR, Amit; CHAUHAN, Ghanshyam S. Extraction and characterization of pectin from apple pomace and its evaluation as lipase (steapsin) inhibitor. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 2, p. 454-459, 2010. Acesso em: 15 jun. 2025.

LEÃO, D. P. **Farinhas de casca de pequi: caracterização físico-química, perfil de fenólicos, antioxidantes e avaliação do potencial como fonte de pectina via extração por micro-ondas.** 2017. 129 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia, Belo Horizonte, 2017. Acesso em: 25 jan. 2025

LOPES, I. A.; *et al.* Characterization of pectin biofilms with the addition of babassu mesocarp and whey protein concentrate. **American Journal of Materials Science**, v. 7, n. 3, p. 64-70, 2017. Acesso em: 15 nov. 2024.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F.. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-155, 2010. Acesso em: 19 nov. 2024.

MARCON, M. V.; *et al.* Pectins from apple pomace. **Polímeros**, v. 15, p. 127-129, 2005. Acesso em: 06 jun. 2025.

MARQUEZ, A. L. B.. **Produção de biofilme a partir do soro de leite.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2023. Acesso em: 10 jun. 2025.

MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; SOARES-JÚNIOR, M. S. Extração de pectina de goiaba desidratada. **Food Science and Technology**, v. 30, p. 119-125, 2010. Acesso em: 19 jan. 2025.

NOGUEIRA, A.; *et al.* Evaluation of the alcoholic fermentation of aqueous extract of the apple pomace. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, p. 187-194, 2005. Acesso em: 20 nov. 2024.

OLÍMPIO, F. M. P.; *et al.* Preparation and delayed release study on pancreatin encapsulated into alginate, carrageenan and pectin hydrogels. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 31, p. 320-330, 2020. Acesso em: 10 jun. 2025.

PAIVA, E. P.; LIMA, M. S.; PAIXÃO, J. A. Pectina: propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação. **Revista Iberoamericana de Polímero**, v. 10, n. 4, p. 196-211, 2009. Acesso em: 15 nov. 2024.

PERONDI, I. A. **Desenvolvimento e caracterização de filme biodegradável à base de amido contendo casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*)**, 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2021. Acesso em: 06 dez. 2024.

PIERRO, S. C. **Extração de pectina do albedo do maracujá com líquidos iônicos**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2024.

QUEQUEZANA BEDREGAL, Marcia et al. Development and characterization of novel packaging films from composite mixtures of rice-starch, tara gum and pectin. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 3, p. 1153-1162, 2023. Acesso em: 14 jun. 2025.

RAMOS, A. C. S. **Elaboração de biofilmes a partir da pectina extraída do mesocarpo da laranja pera**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021. Acesso em: 14 nov. 2024.

SANTANA, J. V. **Síntese de poli (limoneno) e avaliação de seu uso como aditivo em filmes à base de pectina cítrica**. 2023. 78 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023. Acesso em: 15 nov. 2024.

SANTOS, V. S.; *et al.* Avaliação e caracterização de biofilme comestível de carboximetilcelulose contendo nanopartículas de quitosana e *Cúrcuma longa*. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 26, p. e12926, 2021. Acesso em: 14 jan. 2025.

SATO, M. F.; *et al.* Chemical and instrumental characterization of pectin from dried pomace of eleven apple cultivars. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 383-389, 2011. Acesso em: 15 jun. 2025.

Sforça, B.; *et al.* Bioenergia e subprodutos da indústria de processamento de suco de maçã. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 29., 2021, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: Galoá, 2021. Acesso em: 15 Jan. 2025.

SILVA, W. A.; *et al.* Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de biofilmes de diferentes fontes de amido. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 154-163, 2007. Acesso em: 24 maio 2025.

SOARES, D. S. B.; DO NASCIMENTO SILVA, E. A.; DE OLIVEIRA, T. M. Aplicação de filmes biodegradáveis de proteínas do soro de leite. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 3, p. 1-5, 2016. Acesso em: 26 maio 2025.

SOBRAL, P. **Oceano de plástico**. Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2022. Acesso em: 14 nov. 2024.

SRIAMORNSAK, P. Chemistry of pectin and its pharmaceutical uses: A review. **Silpakorn University International Journal**, v. 3, n. 1-2, p. 206-228, 2003. Acesso em: 14 jan. 2025.

STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O.; Williams, P. A. **Food polysaccharides and their applications**. CRC press, 2006. Acesso em: 16 jan. 2025.

SZYMAŃSKA-CHARGOT, M.; *et al.* A determination of the composition and structure of the polysaccharides fractions isolated from apple cell wall based on FT-IR and FT-Raman spectra supported by PCA analysis. **Food Hydrocolloids**, v. 150, p. 109688, 2024. Acesso em: 15 jun. 2025.

TROVATTI, E.; *et al.* Biopolímeros: aplicações farmacêutica e biomédica. **Eclética Química**, v. 41, p. 1-31, 2016. Acesso em: 24 jan. 2025.

VALDÉS, A.; *et al.* Natural pectin polysaccharides as edible coatings. **Coatings**, v. 5, n. 4, p. 865-886, 2015. Acesso em: 24 jan. 2025.

VILELA-RIBEIRO, E. B.; *et al.* Uma abordagem normativa dos resíduos sólidos de saúde e a questão ambiental. **REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 22, 2009. Acesso em: 21 dez. 2024.

VORAGEN, A. G. J.; *et al.* Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. **Structural Chemistry**, 2009, v. 20, p. 263-275.