

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ALICE CRISTINI DOS SANTOS RAMOS

**ELABORAÇÃO DE BIOFILMES A PARTIR DA PECTINA EXTRAÍDA DO
MESOCARPO DA LARANJA PERA**

**FRANCISCO BELTRÃO
2021**

ALICE CRISTINI DOS SANTOS RAMOS

**ELABORAÇÃO DE BIOFILMES A PARTIR DA PECTINA EXTRAÍDA DO
MESOCARPO DA LARANJA PERA**

**Preparation of biofilms from pectin extracted from the mesocarp of Orange
Pear**

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).

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Maria Helene Giovanetti
Canteri.

Coorientador(a): Prof. Dr. Juan Carlos Pokrywiecki.

FRANCISCO BELTRÃO

2021



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

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

ALICE CRISTINI DOS SANTOS RAMOS

**ELABORAÇÃO DE BIOFILMES A PARTIR DA PECTINA EXTRAÍDA DO
MESOCARPO DA LARANJA PERA**

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: 08/Dezembro/2021

Maria Helene Giovanetti Canteri
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Juan Carlos Pokrywiecki
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Tânia Maria Cassol
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

FRANCISCO BELTRÃO

2021

RESUMO

Devido à crescente preocupação ambiental com o acúmulo de materiais não renováveis e o gerenciamento de resíduos agroindustriais, existe um grande interesse no desenvolvimento de biofilmes, que além de minimizarem a utilização de filmes sintéticos tradicionais de origem petroquímica, oferecem uma opção para o uso dos resíduos gerados em agroindústrias. Os biofilmes são estruturas membranosas finas pré-formadas, constituídos por polímeros naturais (lipídios, polissacarídeos e proteínas), capazes de formar uma matriz contínua e coesa, associados ou não a agente plastificante e solvente. A pectina se destaca por ser um dos polissacarídeos naturais mais utilizados no desenvolvimento de filmes biodegradáveis, em decorrência da fácil extração, abundância na natureza e ausência de toxicidade. Esse polímero é encontrado nas cascas de frutas e, por esse motivo, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar biofilmes a partir da pectina extraída do mesocarpo da laranja Pera, a variedade de citros mais cultivada no Brasil. Neste estudo, foram preparados filmes de pectina com glicerol como plastificante, por meio da metodologia de *casting*. O processo foi realizado por extração ácida da pectina do mesocarpo da laranja, com rendimento médio de 23,54%. Os filmes desenvolvidos apresentaram um aspecto homogêneo, sem rachaduras e partículas insolúveis. Outras características constatadas no presente estudo foram a biodegradabilidade dos filmes, a baixa resistência à tração (0,87 kPa) e à alongação (22,84%) e a elevada solubilidade e umidade (62,05%). Verificou-se também que os filmes desenvolvidos podem ser utilizados para conservar a massa pronta de pastel, uma vez que este produto manteve sua maciez sem a visível presença de fungos e bactérias, ao ser protegido pelo biofilme fabricado, embora tenham adquirido coloração mais amarelada. Observa-se que os biofilmes produzidos a partir da pectina extraída do mesocarpo da laranja Pera foram desenvolvidos utilizando uma metodologia simples, demonstrando assim que há possibilidade de utilizar resíduos de indústrias de processamento de frutas, para sua produção, sem intensivo controle das formulações de biofilmes.

Palavras-chave: biofilmes; resíduos industriais; pectina; caracterização.

ABSTRACT

Due to the growing environmental concern with the accumulation of non-renewable materials and the management of agro-industrial residues, there is great interest in the development of biofilms, which in addition to minimizing the use of traditional synthetic films of petrochemical origin, offer an option for compatible use of waste generated in agribusiness. Biofilms are pre-formed thin membranous structures, made up of natural polymers (lipids, polysaccharides, and proteins), capable of forming a continuous and cohesive matrix, associated or not with a plasticizer and solvent. Pectin stands out for being one of the most used natural polysaccharides in the development of biodegradable films, due to its easy extraction, abundance in nature and absence of toxicity. This polymer is found in fruit peels, for this reason, the present work aimed to develop and characterize biofilms from pectin extracted from the mesocarp of orange cv. Pera, the most cultivated citrus variety in Brazil. In this study, pectin films with glycerol as plasticizer were prepared using the casting methodology. The process was carried out acid extraction of pectin from the orange mesocarp, with an average yield of 23.54%. The developed films presented a homogeneous appearance, without cracks and insoluble particles. Other characteristics found in this study were the biodegradability of the films, the low tensile strength (0.87 kPa) and elongation (22.84%) and the high solubility and moisture (62.05%). It was also verified that the developed films can be used to preserve the ready-made pastry dough, since this product kept its softness without the visible presence of fungi and bacteria, by being protected by the manufactured biofilm, although it acquired a more yellowish color. It is observed that the biofilms produced from pectin extracted from the mesocarp of the Pera orange were developed using a simple methodology, thus demonstrating that there is a possibility of using residues from fruit processing industries for production without the intensive control of the biofilms formulations.

Keywords: biofilms; industrial waste; pectin; description.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura da laranja Pera.	12
Figura 2 - Estrutura química simplificada de uma cadeia linear de pectina.....	15
Figura 3 – Laranjas Pera utilizadas no processo.....	18
Figura 4 – Componentes separados da laranja. Mesocarpo a esquerda da imagem e bagaço e demais componentes a direita.	19
Figura 5 – Mesocarpo desidratado.	20
Figura 6 – Farinha de mesocarpo.	20
Figura 7 – Gel de pectina obtido após o processo de extração.	21
Figura 8 – Sistema desenvolvido para a solubilização do gel de pectina.....	22
Figura 9 – Terra vegetal utilizada no experimento.	23
Figura 10 – Texturômetro utilizado.	25
Figura 11 – Aspecto visual dos filmes produzidos a partir do gel de pectina.	29
Figura 12 – Características visuais dos filmes controles.....	29
Figura 13 – Modificações observadas nos filmes desenvolvidos a base do gel de pectina.....	30
Figura 14 – Modificações observadas nos filmes controles.	31
Figura 15 - Modificações constatadas no teste de aplicabilidade.....	37
Figura 16 – Modificações constatadas no teste de aplicabilidade dos controles.	38
Figura 17 – Modificações constatadas no teste de aplicabilidade de um filme não biodegradável.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Rendimentos determinados.....	28
Tabela 2 – Médias \pm desvio padrão dos resultados de cor para os filmes fabricados com o gel de pectina e para os filmes controles.....	32
Tabela 3 – Médias \pm desvio padrão dos resultados das espessuras e das propriedades mecânicas para os filmes produzidos e para os filmes controles.....	33
Tabela 4 – Valores de umidade determinados.....	35
Tabela 5 – Valores de perda de massa verificados.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral	11
2.2 Objetivos específicos	11
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1 Laranja pera	12
3.2 Biofilme	13
3.3 Formação dos biofilmes	14
3.3.1 Biopolímeros	14
3.3.2 Pectina	15
3.3.3 Plastificantes	16
3.4 Caracterização dos biofilmes	16
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
4.1 Matéria-prima	18
4.2 Reagentes químicos	18
4.3 Obtenção da farinha de matéria-prima	19
4.4 Extração da pectina	20
4.5 Produção do biofilme	21
4.6 Análise das propriedades do biofilme	23
4.6.1 Biodegradabilidade.....	23
4.6.2 Cor	23
4.6.3 Espessura	24
4.6.4 Propriedades mecânicas	24
4.6.5 Solubilidade.....	25
4.6.5 Umidade.....	26
4.7 Teste de aplicabilidade do biofilme desenvolvido	26
4.7.1 Avaliação visual.....	26
4.7.2 Perda de massa	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 Rendimento da extração	28
5.2 Biofilmes	28
5.2.1 Biodegradabilidade.....	29
5.2.2 Cor	322
5.2.3 Espessura e propriedades mecânicas.....	33

5.2.4 Solubilidade.....	35
5.2.5 Umidade.....	35
5.3 Teste de aplicabilidade dos biofilmes desenvolvidos	36
5.3.1 Avaliação visual.....	36
5.3.2 Perda de massa	38
6 CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Devido à crescente preocupação ambiental com o acúmulo de materiais não renováveis e o gerenciamento de resíduos agroindustriais, existe um grande interesse no desenvolvimento de biofilmes, que além de minimizarem a utilização de filmes sintéticos tradicionais de origem petroquímica, oferecem uma opção para o uso dos resíduos gerados em agroindústrias, principalmente nas de processamento de frutas (SANTOS, 2019).

Os biofilmes são formados por polímeros naturais (lipídios, polissacarídeos e proteínas), capazes de formar uma matriz contínua, homogênea e coesa, associados ou não a agente plastificante e solvente. Verifica-se que as propriedades dos filmes são dependentes da composição dos componentes utilizados em sua produção (AHMAD et al., 2012).

Entre os polímeros naturais utilizados no desenvolvimento de filmes biodegradáveis, a pectina se destaca por ser um polissacarídeo de fácil extração, abundância na natureza e ausência de toxicidade, encontrado nas cascas de frutas (LIU et al. 2007). Em consequência disso, nos resíduos de indústrias de processamento de frutas, há elevadas quantidades de cascas ricas em fibras e pectina, o que torna o desenvolvimento de filmes biodegradáveis com pectina extraída a partir da casca da laranja, bastante viável, visto que oferece uma alternativa para o uso desse tipo de resíduo agroindustrial (SANTOS, 2015).

Considerando-se, segundo o IBGE, que a produção de laranjas no ano de 2019 no estado do Paraná foi de 694 mil toneladas, e que em média, 34% deste montante é transformado em suco, é obtido um volume relativamente grande de resíduos, potencialmente utilizados tanto como fonte de baixo custo para a extração de pectina, quanto como de outros ingredientes naturais, que fornecem ao biofilme, elevado potencial antioxidante. O processo de adição desses componentes, torna o filme ativo, proporcionando um aumento do seu valor agregado e melhora em suas propriedades (ALEXANDRINO et al., 2007).

Tendo como base essas informações, o presente trabalho tem como objetivo extrair pectina do mesocarpo da laranja Pera (*Citrus sinensis* L. Osbeck), com o intuito de fornecer possíveis opções para o uso de resíduos agroindustriais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Produzir biofilmes à base da pectina extraída do mesocarpo da laranja Pera.

2.2 Objetivos específicos

- Extrair pectina da farinha de mesocarpo da laranja Pera, sob condições fixas:
 - Tempo,
 - Temperatura,
 - Razão sólido-solvente e concentração de ácido;
- Preparar biofilmes, por meio da metodologia de *casting*;
- Caracterizar os biofilmes produzidos quanto às propriedades mecânicas, físico-químicas e de biodegradabilidade.
- Verificar a utilização do biofilme produzido na conservação da massa de pastel pronta.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Laranja Pera

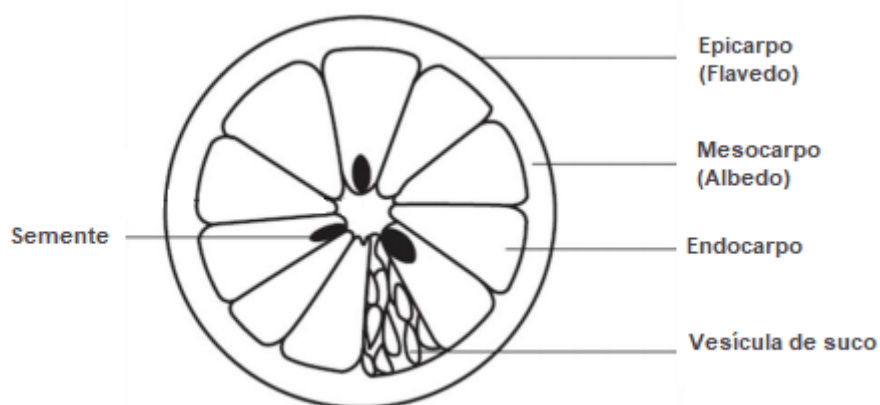
A laranja Pera (*Citrus sinensis* L. Osbeck) é uma das variedades mais importante da citricultura nacional, sendo a espécie de citros mais cultivada no Brasil (SALIBE; SOBRINHO; MÜLLER, 2002).

A laranja está entre as frutas mais produzidas e consumidas no mundo, sendo a citricultura uma das atividades agrícolas que apresenta elevado desenvolvimento na região noroeste do Estado do Paraná. Considerando-se que cerca de 34% da produção anual de laranjas deste estado é transformada em suco, é obtido um volume relativamente grande de resíduos agroindustriais disponíveis para possíveis aplicações (ALEXANDRINO et al., 2007).

É interessante citar que o resíduo produzido no processamento de suco de laranja equivale a aproximadamente 50% do peso total da fruta e contém cerca de 82% de umidade (CRUZ, 2016).

A estrutura da laranja (Figura 1), consiste na casca formada pelo epicarpo (flavedo); pelo mesocarpo (albedo), parte branca e esponjosa da casca que contém a maior parte da pectina; no endocarpo, região na qual se encontram as vesículas com o suco da laranja, e nas sementes (CRUZ, 2016).

Figura 1 – Estrutura da laranja Pera



Fonte: Adaptado de Zanella (2013)

3.2 Biofilme

Filmes e coberturas comestíveis vêm sendo utilizados desde os séculos XII e XIII, no processo de retardamento da desidratação e melhora da aparência de alimentos na China. No entanto, somente a partir de 1990 ocorreu um acentuado crescimento nos estudos para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis (SIQUEIRA, 2019).

A produção de biofilmes utilizando matéria-prima proveniente de resíduos agroindustriais é uma das alternativas ecológica e economicamente viável para diminuição de resíduos acumulados, sendo seu uso uma escolha promissora na elaboração de embalagens ativas com propriedades antioxidantes, que podem contribuir na conservação de alimentos suscetíveis à oxidação (PEREIRA, 2017; SIQUEIRA, 2019).

Os biofilmes são estruturas membranosas finas pré-formadas, que podem ser classificados em comestíveis e/ou biodegradáveis, dependendo dos constituintes utilizados em sua produção. Para que esses filmes possam ser considerados biodegradáveis, os materiais devem ser decompostos por microrganismos, formando assim compostos mais simples como água, metano e dióxido de carbono. Quando utilizados no setor alimentício, possuem a finalidade de manter ou melhorar a qualidade e a durabilidade de alimentos e, ao mesmo tempo, substituir parcialmente as embalagens sintéticas à base de derivados do petróleo, reduzindo assim o impacto ambiental gerado por esses resíduos (BIERHALZ, 2010; SIQUEIRA, 2019).

A utilização de filmes biodegradáveis no setor de embalagens alimentícias vem crescendo devido ao aumento da procura por alimentos sustentáveis. Neste setor, esses filmes devem oferecer proteção mecânica, prevenir a deterioração oxidativa e microbiana, reduzir a migração de umidade, gases e aromas e possibilitar a agregação de fatores sensoriais e nutricionais aos alimentos, permitindo assim estender sua vida de prateleira (CANDÉO, 2020; WEBER, 2000).

As características e as propriedades funcionais do filme são influenciadas diretamente pelas características do biopolímero utilizado (conformação, massa molecular e distribuição de cargas), pelo método e condições usadas durante a confecção do filme (pH, concentração de biopolímero e tratamento térmico da

solução) e pelas condições ambientais (umidade relativa e temperatura) (AZEVEDO, 2018).

É importante citar que, em comparação com os polímeros sintéticos, os biofilmes apresentam problemas quando processados com as tecnologias tradicionais e mostram, geralmente, desempenhos inferiores em termos de propriedades funcionais e estruturais. Apesar disso, apresentam vantagens no sentido de serem produzidos a partir de fontes naturais e serem biodegradáveis (UGALDE, 2014).

3.3 Formação dos biofilmes

Um método amplamente utilizado para a formação de biofilmes é o *casting*, que se baseia na dispersão ou solubilização dos biopolímeros em um solvente, seguida ou não da adição de aditivo na forma de plastificantes ou agentes de ligação. Esse processo gera uma solução ou dispersão filmogênica, que será aplicada em um suporte ou molde adequado, que passará por um processo de secagem controlada. O acréscimo da concentração do biopolímero na solução, devido à evaporação do solvente e a agregação das moléculas, leva a formação de uma rede tridimensional que produz o biofilme (CANDÉO, 2020).

3.3.1 Biopolímeros

Os biopolímeros, geralmente de cadeia longa e alta massa molar, utilizados na formação de filmes biodegradáveis, devem ser capazes de formar matrizes adequadas, contínuas, coesas e aderentes. As principais biomoléculas utilizadas na preparação dos filmes são os lipídios (menos aplicáveis), bem como os polissacarídeos e as proteínas (BIERHALZ, 2010; RIGO, 2006), mais estudados e mais promissores, devido ao fato de serem abundantes, renováveis, econômicos, biodegradáveis, reterem compostos aromáticos e carrear aditivos alimentícios ou componentes com atividades antimicrobiana e/ou antioxidante. A partir disso, verifica-se que a pectina é um polissacarídeo viável para a elaboração de filmes, tanto pelas características apresentadas acima, quanto pela sua biocompatibilidade,

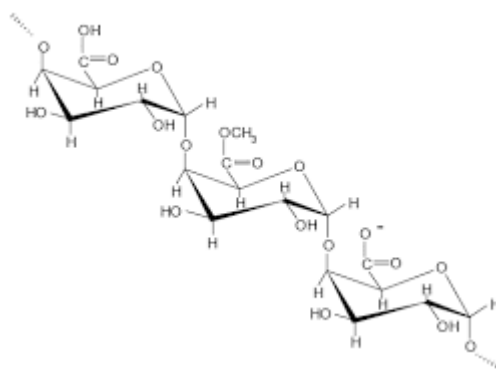
comestibilidade e propriedades químicas e físicas versáteis (SIQUEIRA, 2019; UGALDE, 2014).

3.3.2 Pectina

A pectina constitui um grupo complexo de polissacarídeos, presente principalmente nas paredes celulares e nas camadas intercelulares das plantas terrestres. Uma de suas aplicações mais conhecida é como agente espessante e gelificante de produtos alimentícios; no entanto, sua biocompatibilidade e não-toxicidade permitem seu uso nas áreas farmacêutica e biotecnológica, com ênfase em sistemas de liberação controlada de princípios (BIERHALZ, 2010).

De maneira simplificada, a estrutura da molécula de pectina (Figura 2), consiste em 150 a 500 unidades de ácidos galacturônicos, parcialmente esterificados com grupos metoxílicos, unidos por ligações glicosídicas α -1,4 em uma longa cadeia molecular, no entanto, foi evidenciado que essa molécula é formada por dezessete diferentes monossacarídeos, organizados em polissacarídeos distintos, que se agrupam em diferentes cadeias, a partir de mais de vinte diferentes ligações. Essas cadeias são constituídas por ácidos urônicos, hexoses, pentoses e metil-pentoses e essas diversas unidades estruturais podem estar substituídas por metanol, ácido acético e ácidos fenólicos (CANTERI, 2010; VIEIRA, 2017).

Figura 2 - Estrutura química simplificada de uma cadeia linear de pectina



Fonte: Bierhalz (2010)

As principais fontes comerciais de pectina são o bagaço das frutas cítricas e da maçã, sendo 25% da matéria seca presente no resíduo cítrico e (15-18) % do bagaço seco da maçã. A extração da pectina dessas fontes é conduzida sob

condições ácidas ou básicas com posterior deslignificação pelo tratamento com cloreto de sódio, sendo o procedimento de extração, um fator determinante na qualidade da pectina (BIERHALZ, 2010; SIQUEIRA, 2019).

Os filmes biodegradáveis preparados a partir dessa biomolécula têm a tendência de formar filmes fortes, mas com baixa resistência à umidade, devido à sua natureza hidrofílica (RIGO, 2006).

3.3.3 Plastificantes

As forças coesivas envolvidas na formação de um biofilme podem resultar em filmes quebradiços. Para eliminar essa limitação, adiciona-se um plastificante à formulação de forma a diminuir as forças intermoleculares, aumentando assim a mobilidade das cadeias e melhorando a flexibilidade e o alongamento do filme. No entanto, a utilização de plastificantes hidrofílicos enfraquece a barreira ao vapor de água dos filmes, demonstrando assim, que esse aditivo deve ser utilizado em uma quantidade que permita a otimização das propriedades mecânicas com um aumento mínimo na permeabilidade (ASEVEDO, 2018).

Essas moléculas, geralmente monossacarídeos/dissacarídeos, polióis ou lipídios devem apresentar altos pontos de fusão, baixa volatilidade e massa molar molecular relativamente pequena. Assim, podem ser facilmente incorporadas entre as cadeias poliméricas para reduzir a formação de ligações de hidrogênio entre as cadeias da solução filmogênica (FERNANDES, 2014).

A escolha do plastificante adequado para a formação do filme ocorre a partir da análise da compatibilidade deste composto com o polímero e o solvente utilizados na fabricação. Opta-se por fazer o uso de plastificantes miscíveis no polímero e solvente definidos, de forma a evitar a separação prematura destes componentes (FERNANDES, 2014).

3.4 CARACTERIZAÇÃO DOS BIOFILMES

Uma das características principais de filmes biodegradáveis é a espessura, ou seja, a distância entre as duas superfícies principais do material. A partir dessa grandeza, é possível obter informações sobre as propriedades de barreira a gases e

vapor de água de um biofilme. Verifica-se que diferentes temperaturas no processo de secagem e a utilização de diferentes biopolímeros afetam diretamente essa propriedade, sendo, geralmente, filmes fabricados com pectina, relativamente finos, uma vez que esse polissacarídeo possui uma menor massa molar, o que contribui para a formação de um arranjo mais compacto (BIERHALZ, 2010).

As propriedades mecânicas determinam a resposta dos filmes a influências mecânicas externas, indicando assim a estabilidade e funcionalidade dos materiais para proteger e reforçar a estrutura de sistemas alimentícios. Essas propriedades fornecem medidas sobre a magnitude das forças intermoleculares envolvidas na estabilização da matriz polimérica, e a quantidade de energia capaz de ser absorvida antes do rompimento (SIQUEIRA, 2019; RIGO, 2020).

Os fatores que afetam as propriedades mecânicas são a natureza do material filmogênico, a coesão da estrutura da matriz polimérica, a formulação dos filmes e a metodologia de confecção. Os biofilmes à base de pectina apresentam elevada resistência à tração e pouco alongamento, uma vez que as cadeias desse polissacarídeo são essencialmente lineares (AMARAL, 2014; BIERHALZ, 2010).

Dados sobre a solubilidade de um filme são importantes, pois servem de parâmetro para possíveis aplicações desse material. Verifica-se que na maioria das vezes, as proteções para indústrias alimentícias exigem que os biofilmes sejam insolúveis em meio aquoso de forma a atuar como barreira protetora à transferência de umidade do meio externo e manter a integridade de produtos com alta atividade de água (COSTA, 2018).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Matéria-prima

Mesocarpo da casca de laranjas Pera, adquiridas no mercado local da cidade de Toledo, Paraná (Longitude: 53° 44' 36" Oeste; Latitude: 24° 43' 12" Sul), da mesma safra, com casca da cor verde escuro (Figura 3).

Figura 3 – Laranjas Pera utilizadas no processo



Fonte: Autoria própria (2021)

4.2 Reagentes Químicos

Os reagentes químicos utilizados na metodologia foram de grau analítico, sem tratamento prévio.

Utilizaram-se no processo de extração e isolamento da pectina uma solução de 1 mol L⁻¹ de ácido nítrico 65 % (marca ALPHATEC) e álcool etílico absoluto 96 °GL (Êxodo Científico®). Ao longo da elaboração dos biofilmes, usou-se glicerol (PROQUÍMICOS®), cloreto de sódio, fluoreto de sódio e EDTA sódico. Para a produção dos filmes controles, foi utilizada pectina de maçã Classic CU-L 081/18 com grau de esterificação de 70 % (Herbstreith & Fox KG®).

4.3 Obtenção da farinha de matéria-prima

Cerca de 5 Kg de laranjas foram descascadas, com separação do mesocarpo dessa casca (Figura 4). A partir disso, aqueceu-se o mesocarpo, utilizando um micro-ondas (Electrolux®), por cerca de 50 segundos ou até o tempo necessário para esquentar até que fosse visível a saída de vapor. Em seguida, realizou-se um processo de resfriamento imediato, com agitação manual das cascas. É importante citar que ao longo desse processo, tomou-se o cuidado de não deixar o mesocarpo cozinhar.

Posteriormente, realizou-se o corte, seguido da disposição dessa fração da casca em uma forma forrada com um pedaço de tecido sintético. Após isso, essas foram desidratadas em uma estufa de circulação de ar (Modelo SL 100 – SOLAB), a temperatura de 55 °C, por cerca de dois dias ou até a massa constante.

As cascas secas (Figura 5) foram trituradas em um liquidificador (MONDIAL® - Modelo L95), e posteriormente, a farinha obtida foi peneirada em peneira granulométrica de 50 Mesh, resultando em pó fino de granulometria de 0,297 mm (Figura 6). Para finalizar o processo, o produto foi armazenado em frascos de 250 mL, fechados, a temperatura ambiente.

Figura 4 – Componentes separados da laranja. Mesocarpo a esquerda da imagem e bagaço e demais componentes a direita



Fonte: Aatoria própria (2021)

Figura 5 – Mesocarpo desidratado

Fonte: Aatoria própria (2021)

Figura 6 – Farinha de mesocarpo

Fonte: Aatoria própria (2021)

4.4 Extração da pectina

Neste processo, preparou-se uma suspensão com 4 gramas da farinha do mesocarpo da laranja e 190 mL de água destilada. Em seguida, o frasco contendo a suspensão, foi aquecido em um agitador magnético com aquecimento (marca EVEN - Modelo HJ-5) até a temperatura de 90 °C. Após isso, misturou-se no recipiente contendo a solução, por cerca de 10 minutos, 10 mL da solução de ácido nítrico 1 mol L⁻¹ preparada previamente, para produzir uma mistura na proporção de 1 parte de soluto para 50 partes de solvente.

A suspensão ácida resultante passou por filtração através de tecido sintético e, após o resfriamento do extrato ácido líquido, que contém a pectina solubilizada, foram adicionados, dois volumes de etanol 96 °GL, na temperatura de 4 °C.

Após a formação do gel de pectina, o sistema ficou em repouso por cerca de 12 horas e, após esse intervalo, houve nova filtração (Figura 7). Esse processo foi realizado em triplicata.

Figura 7 – Gel de pectina obtido após o processo de extração



Fonte: Aatoria própria (2021)

Paralelamente a isso, realizou-se um teste de rendimento, que consistiu na retirada de três alíquotas de 10 mL de extrato ácido líquido de cada experimento com precipitação alcoólica. A partir disso, realizou-se o mesmo procedimento para a formação do gel de pectina, seguido do processo de filtração, com tecido sintético, secagem, em estufa de circulação de ar (Modelo SL 100 – marca SOLAB) a 55 °C por cerca de 24 horas e pesagem da massa de pectina formada. O rendimento gravimétrico da pectina extraída foi calculado a partir da razão entre a massa da pectina desidratada em pó e a massa da farinha desidratada utilizada como matéria-prima, ambas em base seca.

4.5 Produção do biofilme

Inicialmente foi necessário realizar a dissolução da pectina, de acordo com a metodologia de Yapo e Koffi (2006), que consistiu na adição, nos recipientes

contendo a quantidade de gel obtida em cada experimento, de 30 mL de solução salina previamente preparada contendo $0,09 \text{ mol L}^{-1}$ de NaCl, $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ de NaF e $0,001 \text{ mol L}^{-1}$ de EDTA sódico. Após isso, realizou-se o processo de solubilização dessas amostras, em um agitador magnético com aquecimento (marca EVEN - Modelo HJ-5), a aproximadamente $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, até formação de uma dispersão coloidal visualmente homogênea (Figura 8).

Figura 8 – Sistema desenvolvido para a solubilização do gel de pectina



Fonte: Autoria própria (2021)

Em seguida, foram adicionados 3 mL de glicerol em 30 mL das amostras de solução salina de pectina, para se preparar soluções filmogênicas com 1% de glicerol por volume, que posteriormente foram dispostas em placas de Petri de polipropileno, com dimensões de 90 X 15 mm. Para finalizar, essas placas foram expostas à secagem em uma estufa de circulação de ar (Modelo SL 100 – marca SOLAB) a $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 48 horas.

Para a produção dos controles, preparam-se soluções de 3% de pectina de maçã em 30 mL de água destilada, com solubilização dessas amostras em estufa de circulação de ar (marca SOLAB - Modelo SL 100), por cerca de 24 horas, a $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Para finalizar, adicionou-se 3 mL de glicerol na solução resultante e realizou-se o mesmo procedimento adotado para a secagem dos filmes produzidos com o gel de pectina.

4.6 Análise das propriedades do biofilme

Para determinar a espessura e as propriedades mecânicas dos biofilmes, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Lima (2018). Para o estudo da solubilidade e umidade, os métodos se basearam em Stolle (2018), e em relação aos ensaios de biodegradabilidade, foram usados procedimentos semelhantes aos desenvolvidos no trabalho de Siqueira (2019).

4.6.1 Biodegradabilidade

Foi realizada a secagem, em uma estufa de circulação de ar (marca SOLAB - Modelo SL 100), de aproximadamente 0,3 gramas de cada filme produzido, durante 24 horas a 40 °C.

Após isso, os fragmentos dos biofilmes secos foram enterrados em dois vasos contendo uma dada quantidade de terra vegetal (marca Terra fértil), com pH de 6,4 e a umidade de 12% (Figura 9). Em seguida, manteve-se o sistema em um ambiente com incidência de luz solar, por 7 dias.

A avaliação desta propriedade foi feita de maneira visual, analisando e registrando as modificações observadas nos filmes nos dias 1, 3 e 7 de armazenamento.

Figura 9 – Terra vegetal utilizada no experimento



Fonte: Autoria própria (2021)

4.6.2 Cor

Essa propriedade foi determinada a partir da metodologia de STOLLE (2018), utilizando um colorímetro portátil (marca Konica Minolta, Modelo CR-400), que determinou o grau de luminosidade (L^*), a intensidade da cor verde e vermelha (a^*) e a intensidade da cor amarela e azul (b^*). A cor foi avaliada a partir dos padrões CIE $L^*a^*b^*$, que define os seguintes parâmetros: L^* , entre 0 e 100, sendo de 0 ao 50, amostras mais escuras, e de 51 a 100, mais claras; a^* (entre -60 a + 60) que define, nos casos de valores positivos, a coloração vermelha, e para dados negativos, a cor verde; b^* (também de -60 a + 60), que apresenta, em casos de valores positivos, a coloração amarela, e para parâmetros negativos, a cor azul. Realizaram-se três leituras, em posições aleatórias, de cada filme.

4.6.3 Espessura

A espessura foi determinada medindo-se, com um paquímetro digital (ZAAS), o valor dessa grandeza em três posições aleatórias do filme. O resultado final utilizado foi a média aritmética dos valores obtidos.

4.6.4 Propriedades mecânicas

Para analisar as propriedades mecânicas destes biofilmes, foram determinadas a tração e o percentual de alongação na ruptura. Para medir essas grandezas, foi utilizado um texturômetro (marca Stable Micro System - Modelo TA.XT2), no qual se inseriram fatias dos filmes produzidos, de dimensões de 5 X 3 cm (Figura 10).

Para o cálculo da tensão de ruptura utilizou-se a Equação 1:

$$Tr = \frac{Fm}{As} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que Tr é a tensão de ruptura (Pascal), Fm é a força máxima no rompimento (Newton) e As é a área da seção transversal do filme (mm^2).

O percentual de alongação dos filmes foi obtido utilizando-se a Equação 2:

$$A (\%) = \frac{D}{D_0} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo A o percentual de alongação, D_0 e D a distância inicial e final de separação das garras (cm).

Figura 10 – Texturômetro utilizado



Fonte: Autoria própria (2021)

4.6.5 Solubilidade

Foram imersos, sob agitação e aquecimento, a uma temperatura de 40 °C, entre 15 a 30 minutos, cerca de 0,1 g dos biofilmes desenvolvidos, em 50 mL de água destilada. A partir disso, seria necessário filtrar a solução, em um papel filtro de massa conhecida, e encaminhar o resíduo para uma estufa de circulação de ar (Modelo SL 100 – marca SOLAB), a 105 °C, durante 24 horas, para realizar o processo de secagem.

Para finalizar o processo, deveria ter se resfriado, em um dessecador, e verificado a massa do papel que continha o biofilme. Em seguida, utilizando os dados da massa inicial (m_i) e final (m_f) obtidas, seria determinado, com o auxílio da Equação 3, o percentual de massa seca solubiliza (MS).

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

4.6.5 Umidade

O processo foi iniciado pesando amostras de cerca de 0,5 gramas de biofilme. Posteriormente, estes fragmentos foram secos em estufa a 105 °C durante 24 horas. Após esse processo, foi determinada a massa final destes filmes e obteve-se o percentual de umidade nos biofilmes produzidos, a partir da Equação 4

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

Sendo m_i e m_f , a massa inicial e final, respectivamente.

4.7 Teste de aplicabilidade do biofilme desenvolvido

Foram inseridas, entre pequenas camadas de massa de pastel pronta (AmaBene®), adquiridas no mercado local da cidade de Toledo, amostras do biofilme produzido. Posteriormente, armazenaram-se essas amostras em refrigerador a 4 °C, juntamente com um lote controle de fatias de pastel separadas com filme não biodegradável de espessura de 0,02 mm. Foram analisados os itens propostos a seguir nos dias 1, 3, e 7 de armazenamento, conforme apresentado na metodologia de Asevedo (2018).

4.7.1 Avaliação visual

Essa avaliação foi feita de maneira visual, analisando-se o aspecto do filme no tempo em que foi armazenado com o alimento. Realizou-se um registro fotográfico das modificações observadas no biofilme, bem como das possíveis alterações nas fatias de pastel.

4.7.2 Perda de massa

A massa das amostras preparadas, no início do processo e após os dias de armazenamento, foi aferida. O percentual de perda de massa (P.M), foi calculado

utilizando a Equação 5, em que M_i e M_f , são a massa inicial e final, em gramas, respectivamente.

$$P.M (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Rendimento da extração

Os valores do rendimento obtido no processo de extração ácida da pectina encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Rendimentos determinados

Experimento	Rendimento (%)	Rendimento Médio (%)*
1	20,54	
2	29,80	23,54 ± 4,43*
3	20,27	

*Média ± desvio padrão

Fonte: Autoria própria (2021)

Estudos mostram que os rendimentos médios alcançados na extração ácida da pectina da casca da laranja, variam de 5,65% a 47,63%, sendo que no trabalho de Lima (2019), foi obtido um rendimento máximo de 21,88%, similar ao constatado no presente estudo. Fatores como a utilização de um agitador com aquecimento, que impossibilitava um controle efetivo da temperatura de extração, geraram menores rendimentos, uma vez que temperaturas acima de 100 °C, podem causar degradação da pectina e a formação de um gel fraco, com influência direta na fabricação dos biofilmes (LIMA, 2019; SIQUEIRA, 2019).

5.2 Biofilmes

Os filmes produzidos apresentaram aspecto homogêneo sem rachaduras e partículas insolúveis. No entanto, observa-se a presença de um grande número de bolhas em sua estrutura (Figura 11). Para explicar essa ocorrência, considera-se que para realizar a solubilização do gel de pectina foi necessária uma agitação vigorosa, com elevada entrada de ar. Dessa forma, uma alternativa para solucionar esse problema, seria realizar o processo de dissolução em estufa, por tempo maior.

De maneira geral, os biofilmes desenvolvidos apresentam uma maneabilidade relativamente baixa, com certa dificuldade para retirá-los do molde,

impossibilitando assim que apresentassem o formato circular da placa. Além disso, notou-se a presença de um pequeno desnível do filme no molde.

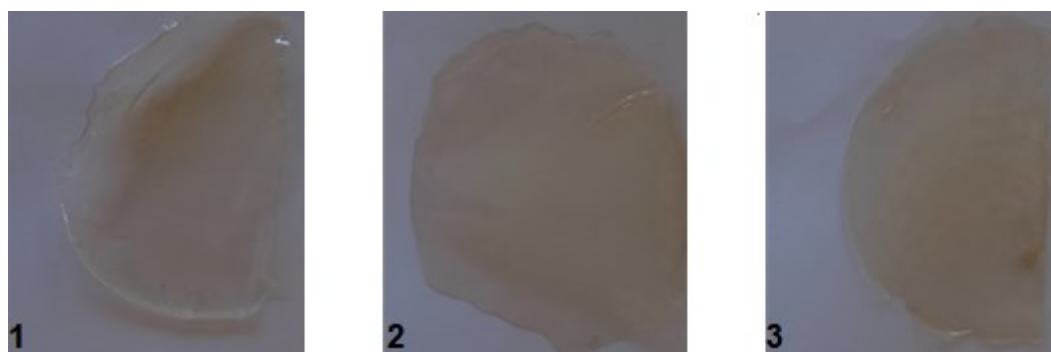
Os filmes controles (Figura 12) apresentaram menores quantidades de bolhas em sua estrutura, e uma melhor maneabilidade.

Figura 11 – Aspecto visual dos filmes produzidos a partir do gel de pectina



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 12 – Características visuais dos filmes controles



Fonte: Autoria própria (2021)

5.2.1 Biodegradabilidade

A partir das modificações observadas durante o desenvolvimento da metodologia (Figuras 13 e 14), constatou-se que todos os filmes controles tiveram biodegradabilidade total em, no máximo, sete dias (Figura 14). Em relação aos filmes fabricados com o gel de pectina, nota-se que apesar de grande parte da massa ser degradada, uma pequena parcela de dois experimentos, ainda é constatada no sétimo dia, demonstrando assim que é necessário levar um intervalo de tempo maior para a completa degradação dos biofilmes.

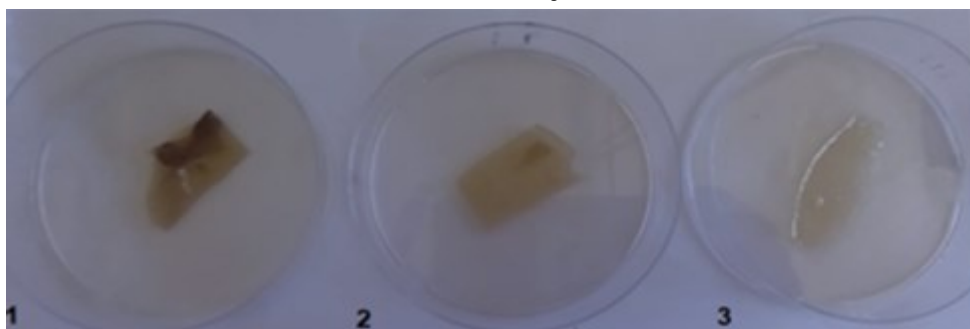
No trabalho de Siqueira (2019), em três dias toda massa de biofilme produzida a partir da pectina extraída do mesocarpo do Pequi foi degradada. Esse

resultado se assemelha ao verificado na maioria dos filmes controles desenvolvidos; no entanto, nos biofilmes fabricados a base do gel de pectina, nota-se essa diferença em relação ao tempo de degradação. Isso pode ser explicado considerando que, como o processo de biodegradação é favorecido pela diversidade da flora microbiana, o fato de que no presente trabalho foi utilizado apenas terra vegetal, sem muita variedade neste aspecto, acarretou o aumento do tempo de processo. Além disso, a elevação da biodegradabilidade dos filmes está relacionada com a solubilidade em água dos filmes que se desintegram na presença de umidade. Sendo assim, ao se considerar que a umidade do solo usado estava relativamente baixa, esperava-se maiores intervalos para ocorrer a degradação.

A partir disso, entende-se que tanto as condições ambientais (umidade, tipo de solo) quanto as propriedades do filme (solubilidade) influenciam diretamente na biodegradabilidade, fatores responsáveis pelo tempo que o filme demora para se degradar.

É interessante citar que o tipo de polímero afeta também essa propriedade. De maneira geral, a pectina possui facilidade para se degradar, pois este polímero possui cadeias alifáticas, mais rapidamente e facilmente degradadas por microrganismos (BENTO, 2005; SIQUEIRA, 2019).

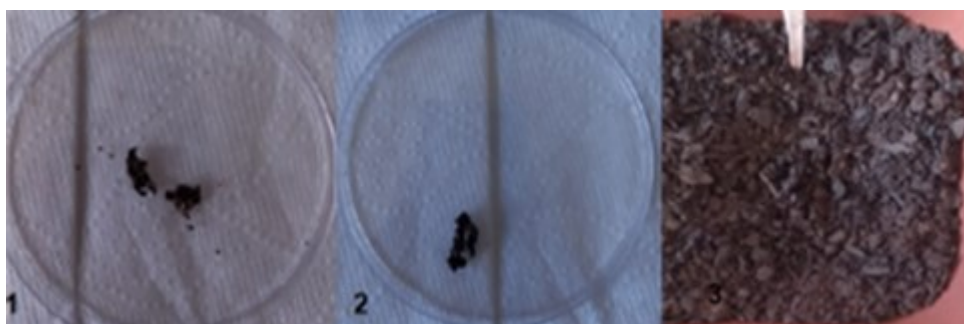
Figura 13 – Modificações observadas nos filmes desenvolvidos a base do gel de pectina
Primeiro dia: 05 de julho 2021



Terceiro dia: 08 de julho de 2021



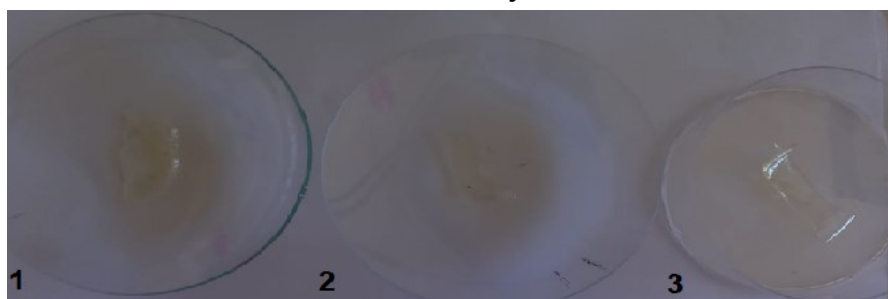
Sétimo dia: 12 de julho de 2021



Fonte: Aatoria própria (2021)

Figura 14 – Modificações observadas nos filmes controles

Primeiro dia: 05 de julho 2021



Terceiro dia: 08 de julho de 2021



Sétimo dia: 12 de julho de 2021



Fonte: Aatoria própria (2021)

5.2.2 Cor

Os resultados referentes à análise de cor realizada encontram-se apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Médias ± desvio padrão dos resultados de cor para os filmes fabricados com o gel de pectina e para os filmes controles

Experimento	L *	a*	b*
1	89,14 ± 0,75	-0,68 ± 0,04	14,28 ± 0,70
2	89,02 ± 0,15	-1,07 ± 0,02	14,88 ± 0,42
3	88,72 ± 0,46	-0,80 ± 0,05	14,66 ± 0,75
Média	88,96 ± 0,18	-0,85 ± 0,16	14,61 ± 0,25
C.1*	74,36 ± 0,60	3,45 ± 0,20	30,65 ± 0,09
C.2*	78,93 ± 0,68	2,30 ± 0,03	25,95 ± 0,45
C.3*	88,37 ± 0,75	0,08 ± 0,04	16,02 ± 0,48
Média	80,55 ± 5,83	1,94 ± 1,40	24,20 ± 6,10

*Filmes controles

L* Grau de luminosidade

a* Intensidade da cor verde e vermelha

b* intensidade da cor amarela e azul

Fonte: Aatoria própria (2021)

Com base nestas informações, pode-se dizer que tanto os filmes desenvolvidos a base do gel de pectina, quanto os controles, possuem o grau de luminosidade médio entre 51 a 100, o que implica em amostras mais claras. Essa ocorrência é um bom indicativo, já que de maneira geral, os consumidores têm a necessidade de ver o que está dentro de uma embalagem (SIQUEIRA, 2019).

Contata-se que os filmes controles são mais claros que os fabricados com o gel em bancada, uma vez que seu grau de luminosidade (88,96 %) é mais elevado. Pode-se confirmar esse fato, observando as Figuras 9 e 10, nas quais também é possível verificar que a amostra de filme 3, é a mais clara entre os filmes produzidos, o que condiz com a ocorrência de seu grau de luminosidade (88,37%) sendo o menor entre as amostras. Segundo Jesus (2017), que produziu biofilmes a partir do mesocarpo do Pequi, pode-se dizer que ao se aumentar a quantidade de pectina extraída, ocorrem modificações na coloração dos filmes. Dessa maneira, as alterações na cor das amostras podem ser explicadas como consequências das diferenças no rendimento obtido em cada extração.

Em relação ao parâmetro a^* , verifica-se que os filmes controles apresentam a coloração relativamente mais próxima de vermelho, já que o valor dessa grandeza foi negativo, enquanto os biofilmes a base do gel de pectina de laranja Pera, possuem uma cor mais próxima do verde, uma vez que os valores de a^* são positivos. Sobre a intensidade da cor amarela e azul, pode-se dizer que todos os filmes produzidos apresentam cores mais próximas do amarelo, uma vez que o parâmetro b^* apresentou valores positivos. De maneira geral, observando as Figuras 9 e 10, pode-se dizer que essa cor é visível. Esse resultado foi contrário ao encontrado no trabalho de Stolle (2018), que elaborou filmes a base de pectina e constatou que apesar dos filmes apresentarem medidas que indicam uma coloração vermelha e azul, estas não foram visíveis a olho nu. Explica-se essa diferença considerando que filmes produzidos somente com pectina extraída, que não passou por nenhum tratamento de purificação, assim como neste estudo, possuem uma coloração mais acentuada (JESUS, 2017).

5.2.3 Espessura e Propriedades Mecânicas

Os resultados da espessura, da tensão de ruptura e do percentual de alongação dos biofilmes desenvolvidos e de um controle de filme não biodegradável de polipropileno, encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Médias \pm desvio padrão dos resultados das espessuras e das propriedades mecânicas para os filmes produzidos e para os filmes controles

Amostra	Espessura (mm)	Tensão de ruptura (kPa)	Percentual de alongação (%)
Filme	0,25 \pm 0,05	0,87 \pm 0,22	22,84 \pm 4,82
Controle	0,46 \pm 0,05	7,80 \pm 1,32	48,22 \pm 19,89
F.N.B*	0,02 \pm 0,00	1,21 \pm 0,00	100,00 \pm 0,00

*Filme não biodegradável.

Fonte: Autoria própria (2021)

Observa-se que a espessura média dos filmes fabricados é maior que a de um plástico não biodegradável, sendo que os filmes a base do gel de pectina apresentaram espessura média de 0,25 mm e os controles de 0,46 mm.

Nos estudos desenvolvidos por Jesus (2017), foram obtidos filmes com espessura entre 0,07 mm a 0,28 mm, enquanto que no trabalho de Siqueira (2019),

na faixa de 0,08 mm. Esses resultados apresentam diferenças relativamente significativas com os dados definidos neste trabalho. Pode-se explicar essa ocorrência a partir de uma provável falta de homogeneidade das amostras. Além disso, com base nos trabalhos de Lima (2019), ao aumentar a concentração de glicerol e pectina, a espessura do filme se eleva. Esses fatores possivelmente também explicam a diferença entre os filmes desenvolvidos e os controles.

Os valores para a tensão de ruptura e o percentual de alongamento determinados para os filmes fabricados a partir do gel de pectina foram relativamente mais baixos quando comparados com os dados obtidos para o plástico não biodegradável. Isso é um indicativo que este material é frágil e quebradiço, possuindo então uma certa limitação em determinadas aplicações, como para embalagens. De maneira geral, filmes de pectina possuem baixo alongamento devido ao fato das suas moléculas se apresentarem estendidas no estado sólido e em solução. Por esse motivo, essas só conseguem se estender pelo deslizamento das suas cadeias uma após a outra, o que causa uma antecipada ruptura do material (LIMA, 2019).

No trabalho de Lima (2019), foram obtidos valores de tensão de ruptura entre 1,115 e 3,927 kPa, e dados do percentual de alongamento entre 15 e 45,85%. Verifica-se que a maioria das grandezas definidas neste estudo encontra-se dentro dessa faixa, que quando comparada com o estudo de Siqueira (2019), que obteve valores de tensão de ruptura de 2,667 Mpa, apresenta dados pequenos, sendo este um indicando que filmes, utilizando pectina extraída do mesocarpo da laranja Pera, desenvolvidos a partir da metodologia utilizada neste trabalho, possuem pequena capacidade de absorver energia antes de se romper. A partir disso, verifica-se que a formulação dos filmes e a sua metodologia de confecção, poderiam ser otimizados.

Observa-se na Tabela 3, os filmes controles apresentaram melhores propriedades mecânicas, do que os biofilmes fabricados a partir do gel de pectina. Isso corrobora o estudo de Jesus (2017), no qual a presença da pectina extraída do mesocarpo externo do pequi promove redução nas propriedades mecânicas, visto que ao se utilizar apenas a pectina comercial em sua formulação, os filmes apresentaram valores mais elevados para os parâmetros estudados.

5.2.4 Solubilidade

Ao se imergir os biofilmes desenvolvidos na água destilada, nas condições de aquecimento e agitação, foi constatado que eles se solubilizam completamente. Esse resultado também foi observado no trabalho de Stolle (2018). A partir disso, pode-se dizer que os filmes fabricados podem ser usados em produtos com vida de prateleira curta e semi-prontos preparados sob cozimento, na encapsulação de alimentos e aditivos e também em produtos que exigem hidratação prévia ao uso, como coberturas de sementes agrícolas, que necessitem de rápida germinação.

Essa alta solubilidade pode ser explicada considerando que polissacarídeos como a pectina são altamente hidrofílicos, devido a distribuição global dos grupos hidrófilos e hidrofóbicos em sua estrutura; o nível de reticulação do polímero é baixo, o que facilita a penetração de moléculas de pequena massa molecular (solvente) na fase do polímero; e a presença de glicerol, um material higroscópico (SEIXAS, 2011; SIQUEIRA, 2019).

5.2.5 Umidade

Os valores obtidos para a umidade dos biofilmes desenvolvidos encontram-se presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de umidade determinados

Amostra	Umidade (%)
Filme	58,46 ± 8,47
Controle	62,64

Fonte: Autoria própria (2021)

Em relação aos dados apresentados na Tabela 4, é importante citar que devido a uma inconsistência dos dados, que foi observada ao se analisar os resultados de algumas amostras dos biofilmes e verificar que as suas massas, após o processo de secagem, eram maiores que a massa inicial, não foi possível calcular o desvio padrão dos filmes controles.

Observa-se que a umidade dos filmes fabricados com o gel de pectina, foi relativamente próxima do valor encontrado para os filmes de controle. No estudo de Lima (2019), os dados de umidade estão na faixa de 62,05 %, parcialmente similar

ao constatado neste estudo. Nota-se que esses valores são altos, uma vez que dados de umidade observados em trabalhos com biofilmes, encontram-se entre 15 e 30% (STOLLE, 2018).

Segundo Stolle (2018), espera-se valores superiores de umidade em biofilmes elaborados com pectina, devido sua natureza hidrofílica. Por esse motivo, pode-se dizer que filmes com elevados valores de umidade possuem maior quantidade de grupos carboxilas e hidroxilas disponíveis para formação de ligações de hidrogênio que se ligam com a água. Além disso, segundo Seixas (2011), o aumento da concentração de glicerol acarreta um pequeno acréscimo no conteúdo de umidade dos filmes, em decorrência do fato de que o plastificante pode se desprender da matriz polimérica, gerando lacunas no material, que o tornam mais acessível às moléculas de água e a sua característica higroscópica.

5.3 Teste de aplicabilidade dos biofilmes desenvolvidos

5.3.1 Avaliação visual

Pode-se verificar (Figura 15) que ao se utilizar o biofilme desenvolvido a base do gel de pectina de laranja Pera, para conservação de fatias de pastel, os fragmentos de massa adquiriram uma coloração relativamente mais amarela, enquanto que os filmes diminuíram a intensidade de sua cor. Apesar disso, as fatias de massa mantiveram sua maciez, sem a visível presença de fungos ou bactérias. É interessante citar que os filmes aderiram bem à massa de pastel, sendo quase parte integral dos alimentos.

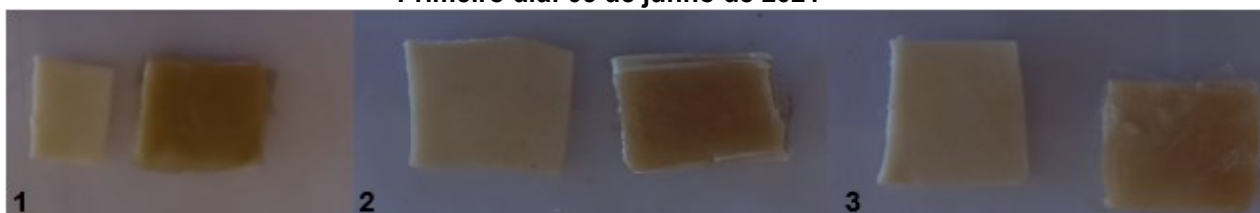
Em relação aos filmes controles, pode-se observar a partir da Figura 16, que o seu processo de aderência não foi satisfatório, uma vez que os fragmentos de pastel começaram a apresentar um aspecto mais seco, com a presença de pequenas rachaduras. Nota-se que apesar desse acontecimento, não foi detectada a presença de corpos estranhos ou fungos na massa. O fenômeno de mudança de cor da massa não foi verificado e os filmes se mantiveram íntegros, apesar de apresentarem pequenos rasgos causados pela retirada do filme da massa.

No estudo de Asevedo (2018), os biofilmes desenvolvidos a partir da pectina extraída do Cajá são úteis na conservação e conseqüentemente no retardo do

amadurecimento de frutas mais ácidas, como a acerola. Entende-se que a massa de pastel tem um caráter relativamente ácido, já que em sua formulação geralmente é utilizada farinha de trigo fortificada com ferro e ácido fólico e conservador ácido sórbico. Esse resultado indica que o biofilme de bancada, quando consideradas as questões relacionadas ao ganho de cor da massa, pode ser útil na conservação desse alimento. Além disso, considerando algumas propriedades do filme, como a solubilidade, pode-se dizer que esses biofilmes possuem um potencial como cobertura comestível.

Comparando-se os resultados apresentados nas Figuras 15 e 16, com os verificados na Figura 17, que retrata as modificações observadas nas fatias de pastel protegidas por um filme não biodegradável, nota-se que não há presença visível de bactérias ou fungos. No entanto, a massa perdeu parte sua maciez (avaliação sensorial de toque) em uma escala menor que a observada nos filmes controles.

Figura 15 - Modificações constatadas no teste de aplicabilidade
Primeiro dia: 05 de junho de 2021



Terceiro dia: 08 de junho de 2021



Sétimo dia: 12 de junho de 2021



Fonte:

Autoria própria (2021)

Figura 16 – Modificações constatadas no teste de aplicabilidade dos controles

Primeiro dia: 05 de julho de 2021



Terceiro dia: 08 de julho de 2021



Sétimo dia: 15 de julho de 2021



Fonte: Aatoria própria (2021)

Figura 17 – Modificações constatadas no teste de aplicabilidade de um filme não biodegradável

Primeiro dia: 05 de julho de 2021

Terceiro dia: 08 de julho de 2021

Sétimo dia: 12 de julho de 2021



Fonte: Aatoria própria (2021)

5.3.2 Perda de massa

Nos estudos de Asevedo (2018) e Stolle (2018), pode-se observar que a perda de massa é um fenômeno que ocorre de forma padrão e constante em frutas, devido ao seu processo respiratório, com transferência de umidade e processos de oxidação, derivados de atividades metabólicas de degradação. Por esse motivo, ao se observar os dados presentes na Tabela 5, que fazem referência a perda de massa no pastel, nota-se valores negativos, que retratam o ganho de massa no sistema. Explica-se essa ocorrência considerando que filmes a base de

polissacarídeos, possuem elevada hidrofiliçidade, possivelmente retendo água do meio.

Apesar disso, quando se comparam os três primeiros dias de armazenamento das amostras, constata-se que a perda de massa do sistema protegido por biofilmes fabricados com o gel de pectina, é de no máximo 3%, enquanto que para a massa armazenada com filme não biodegradável, este valor ficou em torno de 8%. Esses valores demonstram que apesar do ganho de massa, biofilmes desenvolvidos a base do gel de pectina, apresentam uma boa perspectiva como coberturas comestíveis para massa de pastel, uma vez que estes possuem boa aderência, alta solubilidade e protegem, nos dias iniciais, contra a perda de massa.

Tabela 5 – Valores de perda de massa verificados

Amostra	3º Dia (%)	7º Dia (%)
1	2,95	-10,35
2	0,51	1,00
3	0,77	1,20
c.1	-16,21	0,85
c.2	-10,34	0,99
c.3	-15,51	-5,73
P.N.B.1*	-46,11	7,47
P.N.B.2*	-1,45	17,51
P.N.B.3*	7,64	6,18

*Plástico não biodegradável.

Fonte: Autoria própria (2021)

6 CONCLUSÃO

Verifica-se que é possível produzir biofilmes a partir da pectina extraída do mesocarpo da laranja Pera, utilizando uma metodologia simples, uma vez que as etapas de secagem do gel de pectina, peneiramento e solubilização da pectina em pó não foram desenvolvidas. É importante citar que a não realização desses procedimentos impossibilitou o controle efetivo das formulações dos filmes. Apesar disso, observou-se a possibilidade de utilização de resíduos de indústrias de processamento de frutas, para a produção de biofilmes, o que vai agregar valor para esse tipo de material e diminuir, em pequena escala, o uso de filmes de polímeros sintéticos. Deve-se, no entanto, desenvolver soluções para os problemas visuais e físicos constatados ao longo da caracterização dos biofilmes.

O processo de extração da pectina da farinha de mesocarpo apresentou um rendimento médio de 23,54%. Nota-se, apesar da utilização de condições fixas de tempo, razão sólido-solvente e concentração de ácido, já estudadas e consideradas como ideais para esse processo, que o uso da chapa de aquecimento, que impedia a condição fixa de temperatura, fator que tem grande influência no processo de extração, geraram menores rendimentos, já que temperaturas acima de 100 °C podem causar degradação da pectina.

Os biofilmes preparados a partir da metodologia de *casting* apresentaram um aspecto homogêneo sem rachaduras e partículas insolúveis, possuíam a presença de bolhas, devido à agitação vigorosa no momento da solubilização da pectina, e não detinham grande maleabilidade, uma vez que não foi possível retirá-los do molde sem danificá-los.

Em relação às características dos filmes, pode-se verificar que esses são biodegradáveis, uma vez que foi constatada a degradação desse material ao ser enterrado, sendo que fatores como solubilidade, tipo de polímero do filme, umidade e diversidade da flora do solo, afetam diretamente essa propriedade.

Sobre a cor dos filmes, verifica-se que estes apresentaram grau de luminosidade clara, característica desejável para embalagens, no entanto, foram determinados valores para os parâmetros da intensidade da cor verde, vermelha,

amarela e azul, uma vez que a pectina extraída não passou por nenhum processo de purificação.

Os filmes apresentaram uma baixa resistência à tração e alongação, o que é um indicativo de biofilmes frágeis e quebradiços, sendo necessário otimizar a formulação do filme para contemplar as propriedades mecânicas necessárias para atender um maior número de aplicações. Em relação a espessura, pode-se verificar que os filmes desenvolvidos eram mais espessos que biofilmes de pectina fabricados em estudos semelhantes, devido a uma provável falta de homogeneidade das amostras ou uma maior concentração de pectina e glicerol.

Observou-se que os filmes se solubilizam completamente em água e apresentaram valores de umidade relativamente altos (62,05%), em decorrência da natureza hidrofílica da pectina e da utilização de glicerol, que é um material higroscópico que pode se desprender da matriz polimérica. A partir dessas informações, é recomendado utilizar estes filmes em produtos com menor umidade, ou com vida de prateleira curta e semi-prontos preparados sob cozimento.

Verifica-se que é possível, ao se solucionar problemas visuais constatados ao longo do experimento, utilizar o biofilme produzido para a conservação da massa pronta de pastel, uma vez que este produto manteve sua maciez sem a visível presença de fungos e bactérias. Além disso, o filme possui uma grande aderência nas fatias de pastéis, sendo este, juntamente com as características como alta solubilidade do filme, indicativos para uma possível utilização desse material como cobertura comestível.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Mehraj *et al.* Physico-mechanical and antimicrobial properties of gelatin film from the skin of unicorn leatherjacket incorporated with essential oils. **Food hydrocolloids**, v. 28, n. 1, p. 189-199, 2012.

ALEXANDRINO, Ana Maria *et al.* Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotus ostreatus* (Jack: Fr). **Food Science and Technology**, v. 27, n. 2, p. 364-368, 2007.

AMARAL, G. F. **Desenvolvimento de filme comestível a base de fécula de açafrão (*Curcuma longa* L.) e lipídios**. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

ASEVEDO, E. A. **Elaboração de cobertura filmogênica à base de pectina extraída da casca do cajá para revestimento em frutas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2018.

BENTO, Douglas Mayer. **Análise química da degradação dos hidrocarbonetos de óleo diesel no estuário da Lagoa dos Patos–Rio Grande/RS**. 2005. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

BIERHALZ, A. C. K. **Confecção e caracterização de biofilmes ativos à base de pectina BTM e de pectina BTM/Alginato reticulados com Cálcio**. 2010. 126 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

CANDÉO, M. **Cobertura comestível à base de PVA para conservação de tomates**. 2020. Tese de Doutorado - Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Paraná, 2020.

CANTERI, M. H. G. **Caracterização comparativa entre pectinas extraídas do pericarpo de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*)**. 2010. Tese de Doutorado - Université d'Avignon; Universidade federal do Paraná, Paraná, 2010.

COSTA, T. L. E. **Desenvolvimento e caracterização de filmes e blendas poliméricas de quitosana, pectina e fécula de mandioca para revestimento em frutos**. 2018. Tese de Mestrado- Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

CRUZ, W. R. S. **Remoção de íons de bário em meio aquoso utilizando casca de laranja como adsorvente**. 2016. Dissertação de Mestrado - Universidade Tiradentes, Sergipe, 2016.

FERNANDES, A. P. S. **Avaliação e caracterização das propriedades filmogênicas de proteínas do soro de leite submetidas à irradiação e modificação de pH**. 2014. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

GOMEZ, F. L. V. V. **Destinação de resíduos plásticos no Brasil**. 2019. Monografia em Engenharia Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

JESUS, L. S. **Produção de biofilmes a partir do mesocarpo externo do pequi (Caryocar brasiliense Camb)**. 2017. Dissertação de Mestrado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2017.

LIU, L.; MARSHALL, L. F.; HICKS, K. B. Pectin in controlled drug delivery – a review. *Cellulose*, v.4, p-15-24, 2007.

LIMA, R. T. F. M. **Extração da pectina do maracujá amarelo (Passiflora edulis f. flavicarpa) para incorporação em biofilmes**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2019.

PEREIRA, L. C. L. **Desenvolvimento de filmes ativos antioxidantes de PVA incorporado com extrato do farelo da amêndoa de Cacau**. 2017. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2017.

RIGO, L. N. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis**. 2006. Dissertação de Mestrado - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Rio Grande do Sul, 2006.

SALIBE, A. A; SOBRINHO, J. T; MÜLLER, G. W. An overview about Pêra sweet orange knowledge. *Citrus Research & Technology*, v. 23, n. 1, p. 231-245, 2017.

SANTOS, E. K. R. **Avaliação da capacidade de extração de pectina da casca do maracujá (Passiflora edulis f. flavicarpa) em mesa agitadora e ultrassom associada à ação de ácido cítrico**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SANTOS, F. H. **Elaboração de embalagens biodegradáveis ativas a partir de resíduos agroindustriais para conservação de alimentos**. 2019. Dissertação de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

SEIXAS, Fernanda Lini. **Extração de pectina das cascas de maracujá amarelo (Passiflora edulis f. flavicarpa) e aplicação na confecção de biofilmes compostos**. 2011. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2011.

SIQUEIRA, R. A. **Características tecnológicas e aplicabilidade de embalagens biodegradáveis de pectina do mesocarpo do pequi na conservação de cenouras minimamente processadas**. 2019. Dissertação de Mestrado - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Goiânia, 2019.

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

STOLLE, A. M. **Elaboração e caracterização de filmes de pectina para uso na conservação de tomates-cereja (*Solanum Lycopersicum*)**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2018.

UGALDE, M. L. **Biofilmes ativos com incorporação de óleos essenciais**. 2014. 168 f. Tese de Doutorado - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Rio Grande do Sul, 2014.

VIEIRA, D. P. L. **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. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2017.

VILELA-RIBEIRO, Eveline Borges *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.

WEBER, C. J. **Biobased packaging materials for the food industry: Status and perspectives, a European concerted action**. KVL, 2000.

YAPO, Beda Marcel; KOFFI, Kouassi Leonard. Yellow passion fruit rind a potential source of low-methoxyl pectin. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 54, n. 7, p. 2738-2744, 2006.

ZANELLA, K. **Extração da pectina da casca da laranja-pera (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com solução diluída de ácido cítrico**. 2013. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2013.