



Estado do Paraná

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS – PPGCA**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILME  
A BASE DE PECTINA, AMIDO E SORBITOL**

**Patrycia de Souza**

**Toledo – Paraná – Brasil**

**2021**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - Unioeste**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA**

## **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOFILME A BASE DE PECTINA, AMIDO E SORBITOL**

**Patrycia de Souza**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Unioeste/*Campus* Toledo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Dra. Josiane Caetano Dragunski  
Co-orientador: Dr. Douglas Dragunski

**DEZEMBRO/2021**

**Toledo – PR**

de Souza , Patrycia  
Desenvolvimento e caracterização de biofilme a base de  
pectina, amido e sorbitol / Patrycia de Souza ; orientadora  
Josiane Caetano Dragunski; coorientadora Douglas Dragunski.  
-- Toledo, 2021.  
53 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Toledo) --  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de  
Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais, 2021.

1. Biofilme. 2. Resíduo. 3. Biodegradável. I. Caetano  
Dragunski, Josiane , orient. II. Dragunski, Douglas,  
coorient. III. Título.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Patrycia de Souza Zini**

“Desenvolvimento e caracterização de biofilme à base de pectina, amido e sorbitol”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, pela Comissão Examinadora composta pelos membros:

### COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Josiane Caetano Dragunski (Presidente)

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andressa Amado Martin

Universidade Federal do Paraná

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Leila Denise Fiorentin Ferrari

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Aprovada em: 10 de dezembro de 2021.

Local de defesa: Via remota síncrona.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico à minha mãe, minha amiga para todas as horas, à minha irmã meu amor maior e parceira de vida e ao meu amado esposo por tudo e por sempre.

## **AGRADECIMENTOS**

À professora Josiane Caetano Dragunski, minha orientadora, pela orientação e toda ajuda prestada.

Ao professor Douglas Dragunski, pela dedicação, orientação e incentivo.

Aos membros da banca examinadora.

Ao programa de pós-graduação em Ciências Ambientais e todos os professores do programa pelos ensinamentos e ajudas em sala de aula.

À Unioeste campus Cascavel e Toledo pela disponibilidade dos laboratórios para as análises desenvolvidas.

Aos meus amigos que sempre me incentivaram a continuar me dizendo o quanto eu sou capaz e para nunca duvidar do meu potencial.

À minha terapeuta Nicole Emanuela, que foi essencial nessa caminhada e em mil outras também me ajudando cada dia a não surtar.

À minha mãe minha principal incentivadora da vida, que sempre acreditou em mim mesmo quando eu mesma não acreditava.

À minha irmã Francielly por toda ajuda, amizade e dedicação nesses anos de estudo, sem ela não teria chegado até aqui, sou grata por tê-la comigo, minha parceira de vida.

Ao meu amado esposo Marcelo, meu grande incentivador também, por toda dedicação, amor e compreensão nesses anos todos.

À Deus e ao universo por tudo sempre.

**Muito obrigada!**

# Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	7
LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E QUADROS.....	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS:.....	15
2.1 Geral.....	15
2.2 Específicos.....	15
3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	16
3.1 Laranja.....	16
3.2 Pectina.....	17
3.3 Amido de mandioca.....	19
3.4 Embalagens.....	21
3.5 Biofilmes.....	23
3.6 Agentes plastificantes.....	24
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	26
4.1 Extração da pectina.....	26
4.2 Preparo da solução filmogênica com pectina.....	28
5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS (Pectina extraída e filmes).....	29
6. CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES OBTIDOS.....	30
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
7.1 Caracterização da pectina.....	31
7.1.1 Espectroscopia no infravermelho (FTIR).....	32
7.1.2 Análise termogravimétrica (TGA).....	34
7.1.3 Difração de Raios X (Drx).....	35
8. FILMES DE PECTINA.....	35
8.1 Caracterização filmes.....	36
8.2 Difração de Raios X (Drx).....	38
8.3 Análise termogravimétrica (TGA).....	39
8.4 Análises mecânicas.....	40
9. ANÁLISES DE ESPESSURA, SOLUBILIDADE EM ÁGUA, OPACIDADE E TRANSMISSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (TVA).....	42
10. TESTES PRELIMINARES COM PECTINA EXTRAÍDA.....	45
11. CONCLUSÃO.....	46
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Anatomia da laranja.....	17
<b>Figura 2</b> Estrutura geral da pectina. (A) Ramificações laterais; (B) cadeia de ácido poligalacturônico com grupos carboxílicos metilados.....	18
<b>Figura 3</b> Estrutura química da cadeia de amido.....	20
<b>Figura 4</b> Tratamento hidrotérmico do amido.....	21
<b>Figura 5</b> Estrutura química do Sorbitol.....	25
<b>Figura 6</b> Aquecimento do albedo de laranja em meio acidificado.....	27
<b>Figura 7</b> Pectina precipitada em álcool 99%.....	27
<b>Figura 8</b> A - Pectina albedo      B - Pectina albedo+flavado .....	28
<b>Figura 9</b> FTIR para pectina extraída do albedo e albedo+flavado de laranja.....	32
<b>Figura 10</b> TGA da pectina extraída do albedo (A) e albedo/flavado (B).....	34
<b>Figura 11</b> DRX para pectina extraída do albedo (a) e do albedo/flavado (b).....	35
<b>Figura 12</b> Filmes obtidos a partir da mistura de dois polímeros (pectina, amido e sorbitol) nas seguintes proporções: A -100% pectina, B - 75% pectina e 25% Amido, C - 50% pectina e 50% amido, D - 25% pectina 75 % amido.....	36
<b>Figura 13</b> DRX para a mistura de dois polímeros (pectina, amido e sorbitol) nas seguintes proporções: A -100% pectina, B - 75% pectina e 25% Amido, C - 50% pectina e 50% amido, D - 25% pectina 75 % amido.....	38
<b>Figura 14</b> TGA para a mistura de dois polímeros (pectina e amido) nas seguintes proporções: 100% pectina, 75% pectina e 25% Amido, 50% pectina e 50% amido, 25% pectina 75 % amido.....	39
<b>Figura 15</b> Análises mecânicas para a mistura de dois polímeros (pectina, amido e sorbitol) nas seguintes proporções: 50% pectina e 50% amido, 75% amido e 25% pectina, 75% pectina e 25% amido e 100% pectina.....	41
<b>Figura 16</b> Transmissão de vapor de água dos filmes pectina, amido e sorbitol: C+ controle positivo, C – controle negativo, 100% pectina, 75% pectina e 25% amido, 50% pectina e 50% amido, 25% pectina e 75% amido .....	44
<b>Figura 17</b> Filmes nas proporções pectina extraída 25%, amido 75% e sorbitol.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Albedo
AF	Albedo e flavedo
pH	Potencial hidrogeniônico
H	Hidrogênio
OH	Hidroxila
Mol	Massa Molar
M/V	Massa por volume
ml	Mililitro
TGA	Análise termogravimétrica
TVA	Transmissão de vapor de água
FTIR	Espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier
ATR	Reflectância total atenuada
DRX	Difração de raio x
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
TVA	Transmissão de vapor de água
PEC	Pectina
AM	Alta metoxilação
BM	Baixa metoxilação

## LISTA DE TABELAS, GRÁFICOS E QUADROS

Tabela 1 - Classificação das pectinas de acordo com o grau de metoxilação.....	17
Tabela 2 - Proporções de pectina e amido nos filmes .....	27
Tabela 3 - Espessura, Solubilidade em água, Opacidade.....	41
Quadro 1 - Relação banda/atribuição da pectina .....	32
Gráfico 1 - Principais estados produtores de laranja no Brasil em 2019 .....	14

## RESUMO

SOUZA, P. : Título: **BIOFILME A BASE DE PECTINA, AMIDO E SORBITOL**. 40 p.  
Dissertação de mestrado – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais,  
Unioeste *Campus* Toledo – PR, 2021.

Visando reduzir a utilização das embalagens provenientes de polímeros não biodegradáveis, e o reaproveitamento agroindustrial e diminuição da contaminação ambiental frente aos plásticos descartados no meio ambiente, os biofilmes e filmes biodegradáveis obtidos de resíduos agroindustriais vem sendo estudados como embalagem de alimentos. Desta forma, esse trabalho tem por objetivo desenvolver um filme biodegradável à base de pectina, amido e sorbitol, visando melhorar as propriedades do filme. Para a fabricação dos biofilmes foram utilizados como matéria prima a pectina comercial com grau de esterificação de 46%, amido de mandioca e como agente plastificante (sorbitol). As porcentagens variadas foram de 25 a 75% para ambos polímeros, mantendo a quantidade de sorbitol constante. Os filmes foram produzidos pelo do método *casting* e apresentaram boas características, maleabilidade e homogeneidade. A caracterização dos filmes foi realizada usando as técnicas de análise termogravimétrica, difração de raio-x, análises mecânicas, transmissão de vapor de água, teste de opacidade, espessura e solubilidade, sendo possível observar que houve maior deformação com o aumento da porcentagem de amido, além da interação entre os polímeros com maior estabilidade térmica para o filme com maior adição de amido. Após a produção dos filmes usando a pectina comercial, foi realizada a extração da pectina do bagaço da laranja. A extração apresentou rendimento de 12 e 10%, e grau de esterificação de 40% e 43% para as pectinas extraídas do albedo e do albedo e flavedo respectivamente. Os filmes obtidos a partir da pectina comercial apresentaram-se ainda com alta, apresentando melhor resposta para o filme 25% amido e 75% pectina (P25A75), com menor taxa de permeabilidade de vapor de água, com a adição do amido e sorbitol à pectina os filmes ficaram mais maleáveis, com menor opacidade e com melhores características visuais e tátil, indicando que o melhor filme foi nas porcentagens 25% amido e 75% pectina (P25A75). As bandas de FTIR mostraram-se semelhantes para ambas extrações, foi possível calcular o grau de esterificação das pectinas obtidas, para isso, utilizou-se as bandas em  $1747\text{ cm}^{-1}$  e  $1641\text{ cm}^{-1}$ , referentes aos grupamentos C=O e COO<sup>-</sup>. Os filmes obtidos mostram-se promissores para utilização em alimentos como frutas e verduras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodegradável, Esterificação, Resíduo.

## ABSTRACT

SOUZA, P. : Title: **BIOFILM WITH BASE ON PECTIN, STARCH AND SORBITOL.**  
40 p. Master Dissertation – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais,  
Unioeste *Campus* Toledo – PR, 2021.

Aiming to reduce the use of packaging from non-biodegradable polymers, and the agro-industrial reuse and reduction of environmental contamination against plastics discarded in the environment, biofilms and biodegradable films obtained from agro-industrial waste have been studied as food packaging. Thus, this work aims to develop a biodegradable film based on pectin, starch and sorbitol, aiming to improve the properties of the film. For the manufacture of biofilms, commercial pectin with a degree of esterification of 46%, cassava starch and as a plasticizing agent (sorbitol) were used as raw material. The percentages varied from 25 to 75% for both polymers, keeping the amount of sorbitol constant. The films were produced by the casting method and showed good characteristics, malleability and homogeneity. The characterization of the films was carried out using the techniques of thermogravimetric analysis, x-ray diffraction, mechanical analysis, water vapor transmission, opacity, thickness and solubility test, and it was possible to observe that there was greater deformation with increasing starch percentage, in addition to the interaction between polymers with greater thermal stability for the film with greater addition of starch. After the production of the films using commercial pectin, the extraction of the pectin from the orange pomace was carried out. The extraction yielded 12 and 10%, and esterification degrees of 40% and 43% for pectins extracted from albedo and albedo and flavedo, respectively. The films obtained from commercial pectin still presented high solubility (100%), showing better response to the 25% starch and 75% pectin film (P25A75), with the lowest water vapor permeability rate, being the most suitable for coating fruits and vegetables. With the addition of starch and sorbitol to the pectin, the films became more malleable, with lower opacity and with better visual and tactile characteristics, indicating that the best film was in the percentages of 25% starch and 75% pectin (P25A75). The FTIR bands were similar for both extractions, it was possible to calculate the degree of esterification of the pectins obtained, for this, the bands at 1747  $\text{cm}^{-1}$  and 1641  $\text{cm}^{-1}$ , referring to the C=O and COO groups -. The films obtained are promising for use in foods such as fruits and vegetables.

KEY WORDS: Biodegradable, Esterification, Residue

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas tecnologias alavanca a produção e a geração de resíduos sólidos, dentre estes, pode-se destacar as embalagens de alimentos, que contribuem significativamente, causando grande impacto ambiental (LADIM *et al*, 2016).

As embalagens têm o papel principal de aumentar o tempo de armazenamento do produto, fornecendo proteção mecânica e mantendo suas características físicas e biológicas (SOARES, *et al*, 2009). Para que contribuam com o desenvolvimento sustentável devem ser fabricadas a partir de tecnologias limpas, que possam de alguma forma ser recuperadas, recicladas ou reutilizadas após o seu uso (LADIM *et al*, 2016).

As embalagens/ revestimentos de alimentos tem também a função de controlar a umidade e a troca de gases entre o ambiente e o alimento. Essas embalagens além de estender o tempo de vida útil dos produtos, garantem a segurança e qualidade dos mesmos durante o transporte e armazenamento, ajudando a impedir que luz, umidade, contaminantes químicos e micro-organismos deterioradores causem danos aos alimentos, fornecendo condições estéticas e físico-químicas mais adequadas ao produto. (GONTARD *et al*. 1992, SORRENTINO *et al.*, 2007).

No entanto, grande parte destas embalagens são constituídas de polímeros não biodegradáveis, promovendo um sério problema ambiental, pois a sua produção e utilização leva a um grande descarte desse produto, e na maioria das vezes esse descarte acontece de forma desordenada gerando inundações, enchentes, poluição de rios e mares (LADIM *et al*, 2016).

Visando reduzir a utilização das embalagens provenientes de polímeros não biodegradáveis, os biofilmes e filmes comestíveis, aqueles que podem ser ingeridos juntamente com o alimento e que possuem como matéria prima materiais vegetais, como a pectina e o amido, vêm sendo utilizados em diversas pesquisas. Esses materiais quando descartados no meio ambiente, são completamente biodegradáveis (VARGAS *et al*. 2008). De acordo com Viña *et al*. (2007), o uso de

revestimentos comestíveis em alimentos é importante para a manutenção da qualidade do produto, sem mudar as características sensoriais.

Segundo Fakhouri *et al.* (2007) alguns biopolímeros que podem ser utilizados para a fabricação de biofilmes comestíveis são: amido, pectina, celulose e gelatina. O amido por ter um baixo custo, bom desempenho e aliar o manejo do ciclo do carbono com disponibilidade, está entre os polímeros naturais considerado o mais promissor (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Além do amido, pode-se destacar a pectina que é um polímero biodegradável de fonte renovável que possui grande potencial de aproveitamento. Ao utilizar a pectina extraída do bagaço da laranja juntamente com o amido pode-se produzir filmes biodegradáveis com boas propriedades filmogênicas. Desta forma, tem-se um material viável economicamente, sustentável e totalmente de origem vegetal, visando substituir os revestimentos de alimentos derivados do petróleo, que quando descartados no meio ambiente causam um grande impacto ambiental.

O tempo de conservação dos alimentos exige tratamentos físicos e químicos, com isso o uso de biofilmes é imprescindível, pois os mesmos têm a função de agir como barreira entre o ambiente externo e o alimento, com isso as embalagens têm se tornado muito importantes na indústria alimentícia (SIRACUSA, *et al.*, 2008).

A blenda amido/pectina pode ser utilizada em aplicações como, filmes plastificados e géis para conter detergentes e inseticidas, como revestimentos comestíveis de frutas, dentre outros no setor de embalagens (THARANATHAN, 2003).

Dois tipos de resíduos são gerados do processamento de frutas e vegetais, sendo eles: Resíduo sólido (casca, sementes e pele) e líquido (aguas utilizadas na limpeza). A porção de descarte pode ser elevada em algumas frutas como Manga (30-50%), banana (20%), abacaxi (40 - 50%) e laranja (30-50%), pode ser elevada.

Sendo assim há um grave problema na destinação final dos resíduos quando não são gerenciados de forma adequada (ITDG, 2006).

Após a extração do suco de frutas cítricas há a geração do resíduo sólido, o resíduo do processamento de laranjas equivale a 90% deste resíduo, que é composto de casca, pedaços de membrana e o bagaço da polpa.

Aproximadamente 90 % deste resíduo é proveniente do processamento de laranjas, composto de casca, pedaços de membranas, bagaço da polpa e semente,

o que equivale a 44 -50 % do peso total da fruta (WIDMER; ZHOU; GROHMANN, 2010).

Sendo assim é de grande importância a agregação de valor aos resíduos industriais, como exemplo o bagaço da laranja para extração de pectina e amido com sua disponibilidade e valor acessível, para que novos produtos possam ser fabricados de forma mais sustentável, para que a economia se desenvolva e com isso os recursos naturais sejam preservados.

## **2. OBJETIVOS:**

### **2.1 Geral**

Desenvolver um filme biodegradável a base de pectina, amido e sorbitol para ser utilizado como uma possível cobertura de frutas e vegetais.

### **2.2 Específicos**

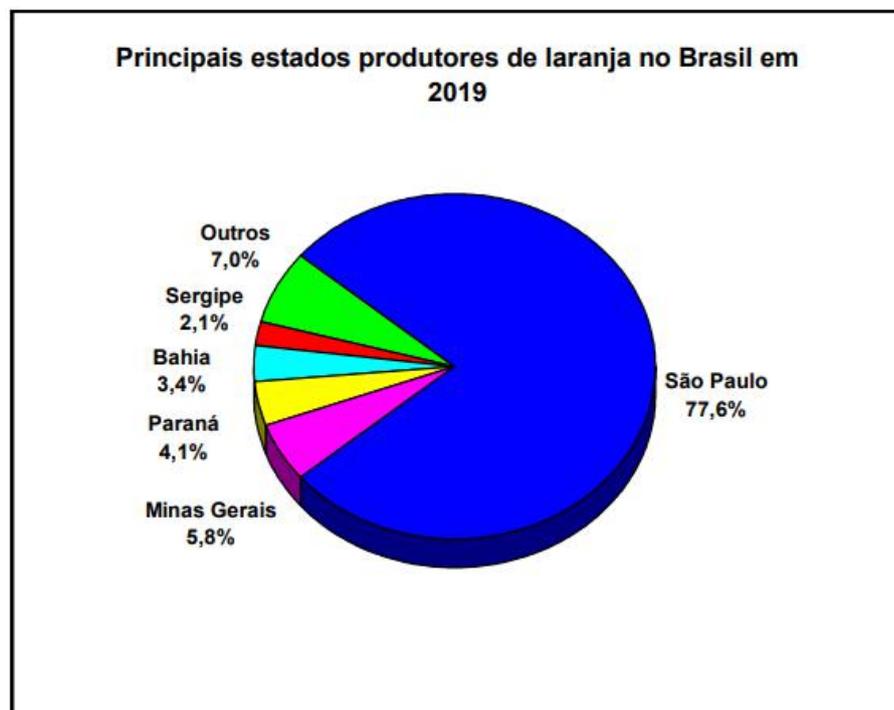
- Preparar filmes a partir da pectina comercial;
- Caracterizar físico-química e mecanicamente os filmes preparados a partir de pectina, amido e sorbitol;
- Extrair a pectina do bagaço da laranja e caracterizar quanto ao grau de esterificação, estabilidade térmica e grupos funcionais.
- Preparar biofilmes através da pectina extraída

### 3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

#### 3.1 Laranja

De acordo com os últimos dados encontrados de 2019 do IBGE a respeito da produção de laranja, o Brasil é o sexto produtor mundial em relação à cultura da laranja. As maiores produções estão centralizadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná, como demonstra o Gráfico 1. Esses três estados juntos são responsáveis por aproximadamente 86% da produção brasileira.

Gráfico 1 Principais estados produtores de laranja no Brasil em 2019



Fonte: IBGE – Produção Agrícola Estadual, 2019

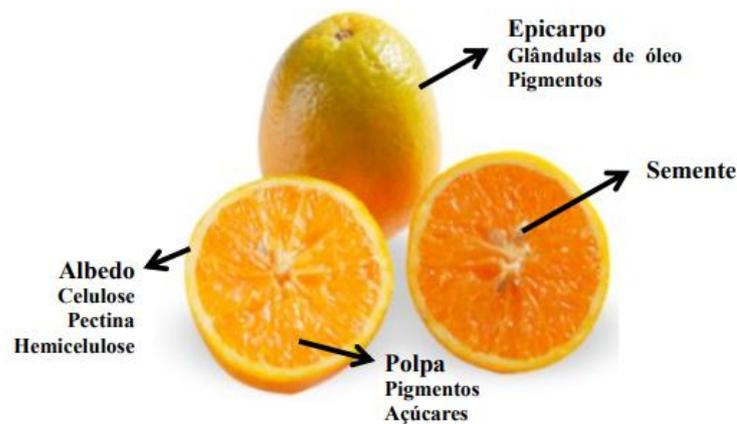
Cerca de a 40 a 60% do peso da laranja é considerado resíduo durante seu processamento (LICANDRO e ODIO, 2002), o grande volume e o destino desses resíduos sólidos e líquidos são um dos principais problemas que as indústrias de suco de laranja enfrentam.

Com a caracterização dos resíduos é possível valorizar o mesmo, a casca da laranja contém 16,9% de açúcares solúveis, 9,21% de celulose, 10,5% de hemicelulose e 42,5% de pectina sendo o componente mais importante. Esse subproduto apresenta grande potencial para utilização em produtos de alto valor

agregado devido a sua composição rica em carboidratos solúveis e insolúveis (RIVAS *et al.*, 2008).

Entre os resíduos sólidos estão, a casca, sementes e polpas, e entre os líquidos, a água que possui proteínas, os óleos essenciais, a pectina e ácidos orgânicos. Os resíduos líquidos são os mais preocupantes por conterem altos índices de matéria orgânica tornando-se poluidores (TAVARES *et al.*, 1998; BRADOCK, 1999). Desta maneira é de grande interesse que esses resíduos possam ser usados como subprodutos.

Figura 1 Anatomia da laranja



Fonte: adaptado de CITRÍCOLA LUCATO, 2016.

O Brasil é o maior produtor de suco de laranja do mundo, porém ainda são poucos os dados disponíveis sobre os subprodutos cítricos, uma maneira para agregar valor a esse resíduo é com a extração da pectina (GONÇALVES *et al.*, 2000)

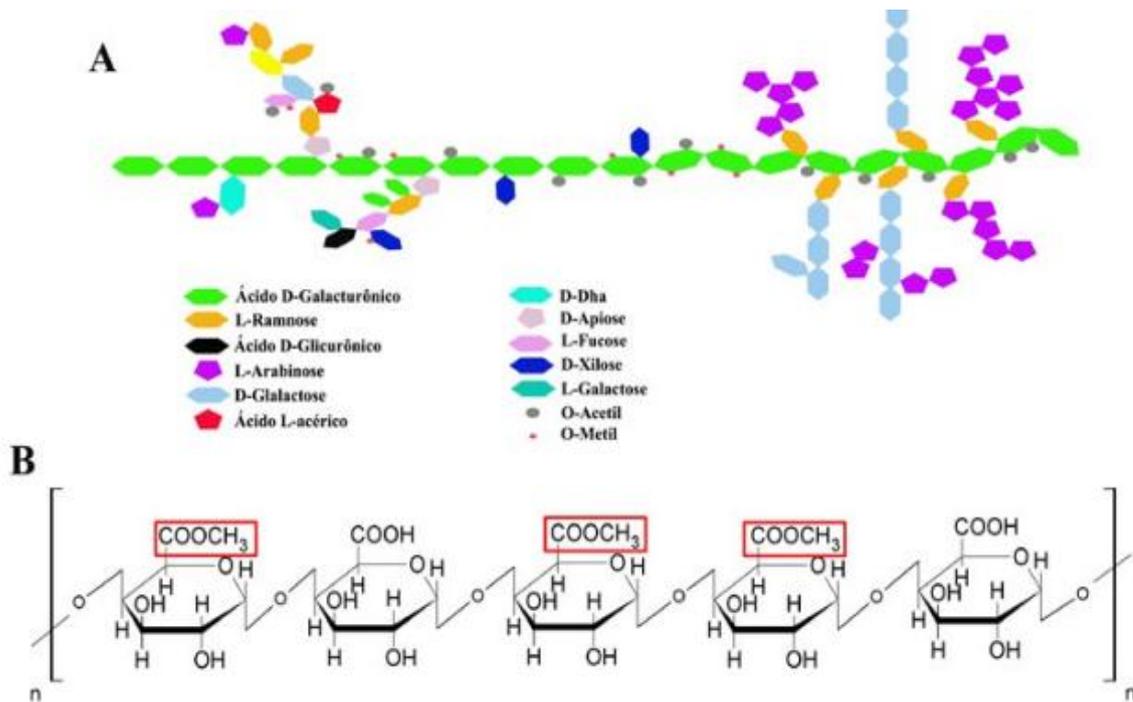
### 3.2 Pectina

A pectina (figura 2) é um polissacarídeo de fonte renovável, não tóxico e biodegradável, constituído por cadeias de ácido D-galacturônico unidas através de ligações glicosídicas  $\alpha$ -1 $\rightarrow$ 4 (MOHNEN, 2008)

De acordo com Munhoz *et al.* (2008) o principal polissacarídeo da parede celular e regiões intercelulares das frutas pertence à classe das pectinas. A pectina é responsável pela resistência mecânica da parede celular e a adesão entre as células.

Os resíduos do processamento de frutas cítricas, cana-de-açúcar e maçã, são as maiores fontes de pectina. Após extraídas em soluções ácidas diluídas, elas são precipitadas e transformadas em pó (MAY, 1990).

Figura 2 Estrutura geral da pectina. (A) Ramificações laterais; (B) cadeia de ácido poligalacturônico com grupos carboxílicos metilados



Fonte: SANTI *et al*, 2014.

A pectina é solúvel em água, em água quente a solubilidade é de 2 a 3%. A função do peso molecular, força iônica, pH, grau de esterificação e a concentração da temperatura é dar viscosidade as soluções de pectina. O processo de extração e tratamento pós-extração, podem variar a composição e as propriedades da pectina de acordo com a fonte (CALLIARI, 2009).

De acordo com o grau de esterificação as pectinas são subdivididas de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 - Classificação das pectinas de acordo com o grau de metoxilação

TIPOS DE PECTNA COMERCIAIS	GRAU DE METOXILAÇÃO (GM) EM %
Pectinas ATM	55 a 75
Pectinas BTM	15 a 45

Fonte: A autora

Pectina de alto teor de metoxilação (ATM) possuem grau de metoxilação superior a 50%, formam géis com concentração superior de açúcar, necessita de meio ácido para formação de gel e resfriamento para ocorrer a gelificação. Pectina de baixo teor de metoxilação (BTM) possuem grau de metoxilação abaixo de 50%, formam géis com baixa concentração de açúcar, são menos sensíveis às mudanças de pH e são termoreversíveis (RIBEIRO *et al*, 2007))

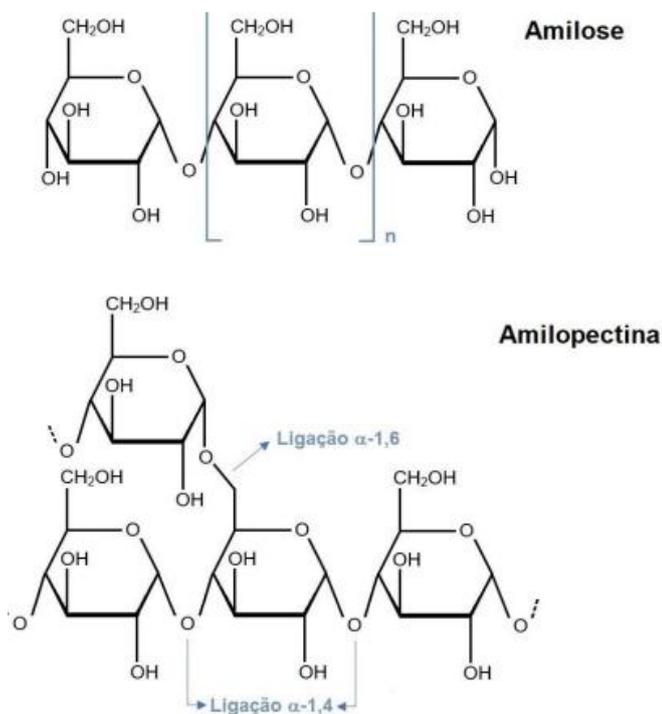
A pectina é utilizada na indústria de alimentos, farmacêutica, cosméticos e também na produção de geleias e gomas como agente espessante por possuir a capacidade de formação de gel, a fim de tornar o meio mais viscoso suas ramificações conseguem reter água (COELHO, 2010).

### **3.3 Amido de mandioca**

As plantas superiores possuem uma principal substância de reserva que é o amido, de essencial importância fornecendo de 70 a 80% das calorias na alimentação humana. Tubérculos e raízes possuem depósitos permanentes de amido em seus órgãos de reserva tais como (mandioca, batata) (LEONEL; CEREDA, 2002).

O amido é um polímero que compreende duas frações de homopolímeros: amilopectina e amilose (conforme Figura 3). Segundo YU (2006) amilose é formada por cadeia não ramificada, composta de unidades ligadas de -D-glicopiranosose por ligações glicosídicas 1-4. Seu comprimento varia de 4 a 100 unidades de glicose e sua massa molecular é de  $1 \times 10^5$  a  $2 \times 10^6$  g mol<sup>-1</sup>. Representando em média 30% do amido de mandioca modificado, esse conteúdo pode variar de acordo com as condições do clima, maturidade fisiológica e fonte botânica.

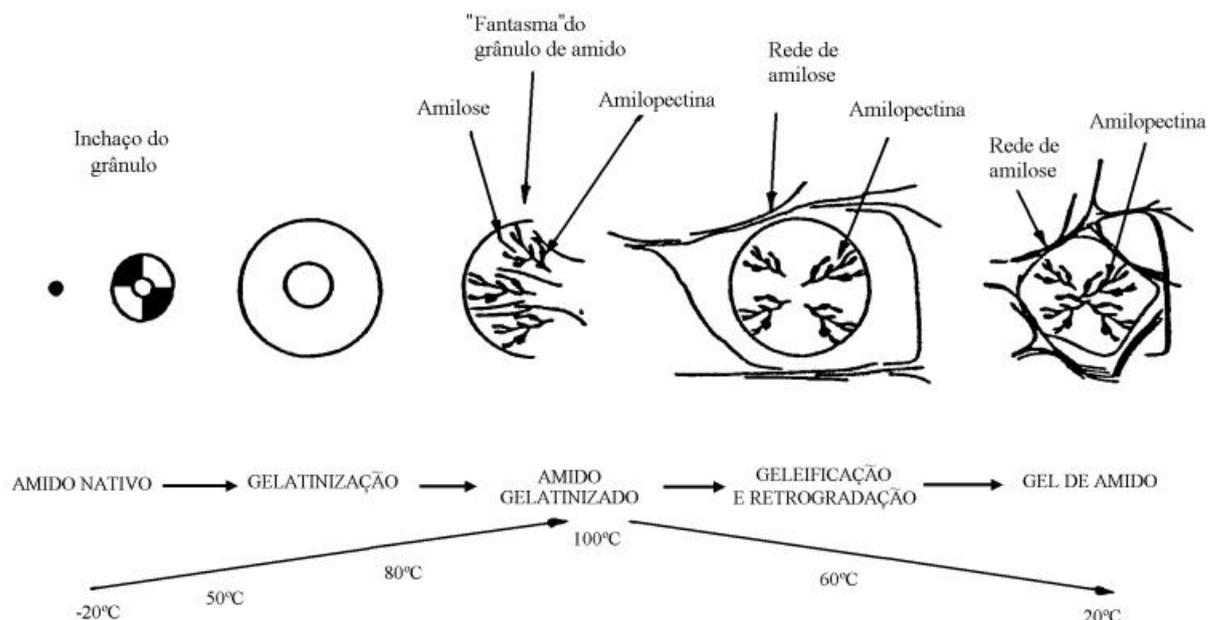
Figura 3 Estrutura química da cadeia de amido



De acordo com PRATES e ASCHIEIRI (2011) amilopectina representa 70% do amido de mandioca modificado, é uma cadeia principal que carrega o grupo redutor e diversas cadeias ramificadas, é composta de unidades de alfa -D-glicopirranose unidas por ligações glicosídicas 1-4, e contem 5 a 6 % de ramificações, entre um grupo de hidroxila de uma cadeia de glicose e carbono 6 da glicose de outra cadeia.

Ao aquecer o amido de mandioca em água (acima de 60°C) ocorre a gelatinização e causa uma mudança irreversível (Figura 4), quando as moléculas de água possuem energia cinética para superar as ligações de hidrogênio entre amilose e amilopeticna ocorre o intumescimento (aumento) dos grânulos, e a hidratação acontece, o grânulo se rompe quando a expansão é contínua liberando a amilose e iniciando a gelatinização (SERRANO, 2005)

Figura 4 Tratamento hidrotérmico do amido



Fonte: VICCENTINI, 2003.

A gelatinização está associada a quanta água existe no grânulo, ou seja, o inchaço pela penetração da água da região interior amorfa, à perda da origem cristalina, à hidratação e inchaço do grânulo de amido e lixiviação da amilose (FONTES, 2005).

Plantas como mandioca, trigo, inhame, batata, batata-doce, ervilha, feijão, entre outras possuem amido que é utilizado na alimentação, como fonte de glicose, preparação de gomas, produção de biofilmes, fabricação de adoçantes e xaropes, álcool etílico, devido seu baixo custo é utilizado em diversos estudos, e por ser um produto renovável vem sendo muito utilizado na preparação de filmes biodegradáveis (PETRIKOSKI, 2013).

A biodegradabilidade e o baixo custo do amido são alguns dos motivos para que o biopolímero seja muito estudado para modificar ou misturar com outras substâncias químicas no sentido de melhorar a sua processabilidade, formando assim uma família versátil de bioplásticos (THIRE, *et al* 2004; AYRANCI E TUNC, 2003).

Segundo Van Soest e Vliegenthart (1997), algumas etapas devem ser cumpridas para a produção industrial de plásticos biodegradáveis de amido. Em

primeiro lugar deve-se utilizar uma tecnologia já utilizada nas indústrias de plástico convencional para que o custo seja viável. Em segundo lugar os plastificantes e aditivos empregados no processo devem ser biodegradáveis, e por fim, as características do material desenvolvido devem ser comparáveis com as dos convencionais.

Além da tecnologia de produção dos biofilmes ser de grande interesse industrial e ecológico, é também uma forma de agregar valor às matérias primas importantes que são produzidas no país (VARGAS *et al*, 2006; SANTOS *et al*, 2011).

### **3.4 Embalagens**

Problemas ambientais e a conveniência para o consumidor, junto com a crescente preocupação com a segurança alimentar, vem impulsionando o desenvolvimento de novas matérias primas para a elaboração de novas embalagens (MANGARAJ *et al*, 2009; GODOY *et al*, 2001)

Embalagens ativas interagem de forma desejável com o alimento, aumentando o tempo de armazenamento do produto embalado, aumentando as propriedades sensoriais, a segurança e mantendo a qualidade do produto um tempo maior sem que o mesmo perca suas características. (YAMASHITA, *et al* 2006 e VILA, 2004).

As embalagens têm múltiplas funções e são de muita importância na indústria alimentícia. Elas atuam na conservação dos alimentos e ajudam a conter os produtos mantendo assim a segurança e a qualidade dos mesmos, atuam também como uma barreira protetora contra fatores que causam a deterioração microbiológica, química e física dos alimentos, facilitando o transporte, melhorando a apresentação e agregando valor a esses produtos, mantendo as características próprias de cada produto ajudando na manutenção de suas características por um maior período de tempo (JORGE, 2013; SOUSA *et al.*, 2012).

Alguns requisitos legais preconizados pelas legislações devem ser atendidos quando se trata de embalagens, elas devem apresentar praticidade no tamanho e forma, uma estética atrativa, fácil descarte, reutilização e/ou reciclagem (FELLOWS, 2006).

Ultimamente as embalagens convencionais apesar de terem contribuído para um rápido desenvolvimento de sistemas de armazenamento, não estão mais sendo capazes de satisfazer todos os requisitos, devido ao uso indiscriminado de materiais não biodegradáveis e mudanças nas suas produções (CUTTER, 2006).

Algumas dificuldades como o custo em pesquisas e desenvolvimento ainda impedem o avanço de novas tecnologias de embalagens e a aceitação global das mesmas, pois o aumento do preço nas tecnologias impede a agregação de valor nesses produtos, porém aos poucos esse mercado vem ganhando força (MELARE, 2014).

### **3.5 Biofilmes**

Cobertura ou recobrimento é o nome que se dá a uma solução polimérica que recobre toda a superfície de um produto. O filme constitui estruturas diferentes e independentes e são fabricados em separado, estes filmes poderão ser usados para envolver o produto ou para separar diferentes partes do mesmo (THARANATHAN, 2003). Dependendo da sua natureza e dos seus constituintes os filmes podem ser comestíveis e/ou biodegradáveis, podendo ser utilizados como cobertura ou filme, sendo os filmes pré-formados separados do produto, e as coberturas formadas sobre a superfície do próprio alimento, por aspersão ou por imersão (CHITARRA E CHITARRA, 2005).

Os filmes são utilizados para melhorar ou manter a durabilidade e qualidade dos alimentos, substituindo embalagens sintéticas derivadas de petróleo e são confeccionados a partir de recurso naturais, reduzindo assim o uso de recursos não-renováveis e o impacto ambiental (KESTER E FENNEMA, 1986). Os materiais devem ser decompostos por microrganismos para serem considerados biodegradáveis, para que compostos mais simples sejam formados, como metano, dióxido de carbono e a água (KROCHTA E DE MULDER-JOHNSTON, 1997).

Os filmes podem atuar controlando a migração da água, a migração lipídica e a permeabilidade a gases dos alimentos em sistemas alimentícios, também podem conter antioxidantes e antimicrobianos, evitando que os produtos se deteriorem mais rapidamente, prolongando assim a vida útil do produto nas prateleiras (MCHUGH e KROCHTA, 1994; KESTER e FENNEMA, 1986). Coberturas comestíveis têm sido usada desde 1930 comercialmente para revestir vegetais e frutas frescas, sua

finalidade é melhorar a aparência como a cor e o brilho, evitar que o produto perca água, as propriedades funcionais do filme devem permanecer estáveis durante o tempo de uso desejado (DEBEAUFORT *et al.* 1998).

Devido a demanda por alimentos de alta qualidade e praticidade e as precauções ambientais sobre como descartar as embalagens de alimentos feitas de materiais não renováveis, existe um intenso interesse pelo desenvolvimento de biofilmes comestíveis, criando também novos mercados para as matérias primas formadoras de filme (TANADA-PALMU *et al.*, 2002).

De acordo com Sakanaka (2012) através das características dos alimentos é que são requeridas as características da película comestível. Películas que apresentam baixa permeabilidade ao oxigênio (O<sub>2</sub>) são ideais para produtos suscetíveis a oxidação. Películas que permitam transferência de gases aumentando a respiração, evitam processos fermentativos resultantes de anaerobiose e são ideais para frutas e hortaliças frescas (DOBRUCKA e CIERPISZEWSKI, 2014).

Baseada na dispersão ou solubilização dos biopolímeros em um solvente, com adição de aditivo (plastificante) obtém-se uma solução filmogênica que passará por um processo de secagem para formação de filmes e coberturas comestíveis. (PRATES *et al.*, 2011)

*Casting* é um dos métodos mais utilizados para a fabricação de biofilmes, onde uma solução filmogênica da macromolécula é preparada e aplicada em um molde ou suporte e em seguida é colocada para secagem em condições controladas (THARANATHAN, 2003).

### **3.6 Agentes plastificantes**

Para melhorar as propriedades mecânicas, sensoriais, nutricionais e de proteção, muitos materiais podem ser incorporados aos filmes como os plastificantes. A influência que esse aditivo terá nas propriedades do filme, dependerá da sua concentração e da interação do aditivo com o polímero (HAN, 2004).

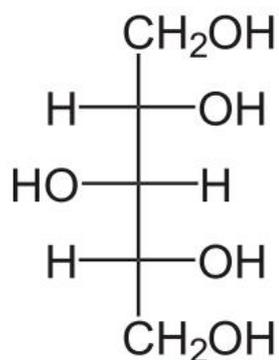
O plastificante é uma molécula pequena de baixa volatilidade, e sua natureza química é similar à do polímero que será usado no desenvolvimento do filme (VASQUES e CARVANTES, 2010).

Monossacarídeos, oligossacarídeos, polióis e lipídios são os plastificantes que são mais comumente utilizados na fabricação de biofilmes. Por apresentarem moléculas pequenas podem ser facilmente incorporados entre as cadeias poliméricas, e podem provocar mudanças nas propriedades mecânicas, físicas e químicas (MCHUGH e KROCHTA, 1994).

A compatibilidade com o polímero e o solvente é o que determina a escolha do plastificante mais adequado a ser utilizado na fabricação do filme. Durante o processo de secagem não deve haver separação de fases, e deve apresentar baixa volatilidade e não-toxicidade. Geralmente quando o polímero e o plastificante possuem estruturas químicas similares há uma boa compatibilidade (GUILBERT *et al.* 1986; SOTHORNVIT E KROCHTA, 2005).

Através da *D*-Glicose obtém-se o Sorbitol (Figura 5), ele tem como principais características ser capaz de produzir soluções de grande aplicabilidade na indústria farmacêutica, estética e principalmente na alimentícia, tem função plastificante promovendo o aumento da flexibilidade (VASQUES, 2007).

Figura 5 Estrutura química do Sorbitol



Fonte: PERUZO E CANTO, 2010.

Glicerol e sorbitol são os polióis mais indicados para serem empregados em filmes de amido, pois são materiais que por meio de ligações de hidrogênio interagem com as cadeias do amido. Por possuir seis grupos de hidroxilas, o sorbitol tem maior capacidade de interação com as moléculas de amido que o glicerol (MALI, *et al.*, 2010).

Com o passar do tempo, o homem criou através dos avanços científicos e tecnológicos, materiais que oferecem comodidade e eficiência em seus afazeres. O resultado desse avanço foi o desenvolvimento de materiais plásticos. Quase todos

os objetos utilizados pelo homem na atualidade são feitos de algum tipo de polímero (JUNIOR, 1998).

Desta forma, este trabalho visa a produção de um filme biodegradável, a partir de matérias-primas vegetais e que seja capaz de manter as características e qualidades do alimento, sem causar um impacto ambiental e ajudando na preservação do meio ambiente.

#### **4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

##### **4.1 Extração da pectina**

As laranjas Pêra (*Citrus sinensis* L.Osbeck) foram obtidas no supermercado, e o processo se iniciou logo após a extração do suco para se evitar a degradação da matéria prima por ação enzimática. O flavedo (casca) e o albedo (parte branca interna da laranja) foram higienizados em água corrente, para remover impurezas que possam afetar o processo de extração da pectina, cortados em pedaços menores para melhor extração da pectina devido ao aumento da área de contato (ZANELLA, 2013) e secos em estufa a 70 °C por 24 horas de acordo com metodologia de (KLIEMANN, 2006), moídos em liquidificador, e armazenados em sacos herméticos e refrigerados a 5 °C.

Para extração da pectina, o material seco foi colocado em água destilada 1/40 (p/v) e ajustado o pH para 2, adicionando ácido clorídrico 0,1 mol L<sup>-1</sup>. O pH reduzido no início do processo de extração permite obter melhores rendimentos, sendo uma das formas mais utilizadas para extração em escala industrial (CHO; HWANG, 2000; YAPO et al., 2007. Depois de acidificada, a mistura foi posta em agitação com aquecimento de 90°C por 60 minutos com velocidade de 650 rpm (Klieman, 2006 adaptado) Conforme Figura 6.

Figura 6 Aquecimento do albedo de laranja em meio acidificado



Com uma rede de micra foi retirado o material sobrenadante e descartado o restante do resíduo do bagaço da laranja. Logo após foi adicionado álcool etílico 99% ao material sobrenadante para a precipitação da pectina (Figura 7), após uma hora em repouso através de uma rede de plâncton essa solução foi filtrada e o material filtrado lavado três vezes em álcool 95% e após, o material foi seco em estufa a 55° até seu peso ser constante (Figura 8).

Figura 7 Pectina precipitada em álcool 99%



Figura 8 A - Pectina albedo B - Pectina albedo+flavado



A

B

#### 4.2 Preparo da solução filmogênica com pectina

Para a fabricação dos biofilmes foram utilizados como matéria prima a pectina comercial, pois fornece uma maior quantidade do material em relação a pectina obtida na extração, além de ser um material já caracterizado, será usado também o amido de mandioca e o agente plastificante (sorbitol). Foram estudadas diferentes composições do filme, contendo amido, pectina e sorbitol.

A concentração final de polímeros foi de 3,7% m/v, sendo testadas concentrações diferentes de pectina/amido conforme tabela 2.

Tabela 2 – Nomenclatura dos filmes e suas composições em relação a porcentagem em massa.

Filmes	Pectina	Amido	Sorbitol
A100	-	100%	30%
P100	100%	-	30%
P75A25	75%	25%	30%
P50A50	50%	50%	30%
P25A75	25%	75%	30%

A solubilização do amido e da pectina foram realizadas separadamente mediante ao aquecimento em banho-maria a aproximadamente 80 °C para que ocorra a gelatinização de acordo com a metodologia de Fakhouri *et al* (2007), após a mistura dos dois foi adicionado o sorbitol (30% em relação a massa total de polímeros) em temperatura ambiente. As dispersões filmogênicas foram depositadas sobre uma placa de teflon de 7 cm de diâmetro que posteriormente foram secas por aproximadamente 16 horas a 40 °C em estufa para a secagem por método *casting* que consiste em verter uma solução em placas petri e levá-la a estufa para a evaporação do solvente e retirada do filme das placas.

## 5. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS (Pectina extraída e filmes)

Para o cálculo de rendimento da pectina utilizou-se a massa de matéria prima albedo e flavedo e pectina seca, usando o cálculo:

$$Rend = \frac{m_{ps}}{m_{mp}} \cdot 100$$

Equação 1. Rendimento da pectina

Em que:

*Rend*: Rendimento de pectina extraída (%)

*m<sub>ps</sub>*: Massa de pectina seca (g)

*m<sub>mp</sub>*: Massa de matéria-prima (g)

Para caracterizar e analisar a estabilidade térmica da pectina e também dos filmes obtidos utilizou-se a análise termogravimétrica (TGA) analisador térmico Perkin-Elmer STA. Massa de amostra entre 5 e 10 mg, atmosfera dinâmica de nitrogênio com vazão de 30 mL min<sup>-1</sup>, aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup> com intervalos de temperatura de 30 a 700 °C.

O grau de esterificação da pectina foi determinado por meio da análise das áreas correspondentes aos grupos carboxílicos esterificados (-COO-R), no comprimento de onda em 1750 cm<sup>-1</sup> e aos grupos carboxilatos (-COO-) no comprimento de onda 1600 cm<sup>-1</sup> as áreas especificadas foram calculadas com software Origin e usadas para o cálculo:

$$\% GE = \frac{GCE}{TGC} \times 100$$

TGC

Equação 2. Grau de esterificação da pectina extraída

Em que: GCE referente aos grupos carboxílicos esterificados e TGC corresponde grupos carboxílicos esterificados e dos grupos carboxilatos.

## 6. CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES OBTIDOS

Por meio de difração de raios X-DRX no difratômetro D2Phaser – Bruker foi analisada a natureza amorfa ou cristalina da pectina e filmes, com ângulo  $2\theta$  de 5 a  $60^\circ$ .

As análises mecânicas dos filmes foram realizadas segundo a norma ATM D882-12, determinada pelo método de curvas tensão/deformação, sendo realizadas com célula de carga de 10 kg em um analisador universal BIOPD. A tração nos corpos de prova foi de  $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  até o rompimento da amostra, utilizando à distância de 41,0 mm entre os grampos, obtendo-se os resultados analisando a curva tensão x deformação.

As espessuras dos filmes foram analisadas medindo cinco partes aleatórias dos filmes com micrômetro analógico Mitutoyo, com precisão de  $\pm 0,015 \text{ mm}$ , e a média aritmética foi calculada. Foi usado um micrômetro para tirar as medidas (SILVA, 2017).

Para determinar a solubilidade em água foram recortadas amostras de  $2 \text{ cm}^2$  de área do filme secas em estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 24 h para a análise da solubilidade dos filmes, e utilizando uma balança analítica para medir a massa. As amostras foram colocadas em erlenmeyers com 25ml de água destilada após a primeira pesagem e levadas a um shaker e foram mantidas em agitação lenta e constante por 24 h. Após esse procedimento as amostras voltaram a estufa a  $105^\circ\text{C}$  e 24 h e utilizando a balança sua massa final foi medida novamente (BREITENBACH et al, 2017).

A solubilidade foi dada pela Equação 3:

$$\text{solubilidade}(\%) = 100 \left( \frac{DM_0 - DM_{24}}{DM_0} \right)$$

Equação 3. Equação de solubilidade

Onde:

$DM_0$ = Matéria inicial.

$DM_{24}$ = Matéria seca após 24 horas em água destilada.

Para as análises de transmissão de vapor de água (TVA) os filmes com área de 3,5 cm<sup>2</sup> foram recordados de modo a serem fixados em frascos de vidro tampados contendo sílica, juntamente com os frascos controles C+ (frasco aberto sem filme) e C- (frasco tampado sem filme) e acondicionados em dessecador contendo água e cloreto de cálcio 10 %, todavia, os filmes não entraram em contato direto com a água. O conjunto do filme foi pesado em intervalos de 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 e 166 sendo armazenados a cada intervalo de tempo. Para o cálculo da TVA foi utilizada a fórmula:

$$TVA = \frac{\Delta W}{\Delta t \cdot A}$$

Equação 4. Equação transmissão de vapor de água

Onde:  $\Delta w$  corresponde à água absorvida pela sílica em função do tempo (mg/hora)

A é a área do filme (cm<sup>2</sup>)

$\Delta w/\Delta t$  é o coeficiente angular de cada linha determinado por regressão linear.

Um espectrofotômetro Shimadzu foi utilizado para determinar as medidas de opacidade (transmitância). Sendo o comprimento de onda de 450 nm e 750-400nm a faixa de varredura. A absorbância no comprimento de onda selecionado pela espessura do filme, determinam o cálculo de opacidade do filme:

$$Opacidade = \frac{A_\lambda}{x}$$

Equação 4. Equação opacidade

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 Caracterização da pectina

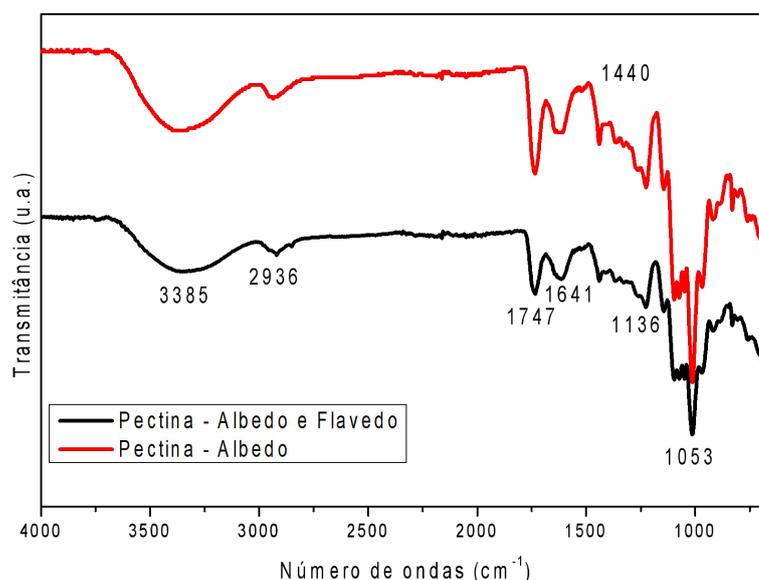
As extrações para a pectina extraída do albedo (PA) e do albedo mais flavedo (PAF), tiveram um rendimento de 12,30 e 10,21%, respectivamente, porém a pectina obtida do albedo foi a que apresentou o maior rendimento, corroborando com

Zanella (2013) que observou em *Citrus sinensis* L. Osbeck (laranja-pera) rendimentos maiores para amostras sem flavedo (11,26%). Klieman (2006) também observou o menor rendimento para a extração com flavedo na pectina do maracujá, as amostras sem flavedo obtiveram um maior rendimento. Pode-se observar também que o grau de esterificação foi próximo para ambas extrações, desta forma, apesar de as pectinas cítricas demonstrarem um menor rendimento com o flavedo, os filmes podem ser produzidos com a pectina extraída do braço contendo albedo + flavedo, devido a maior facilidade experimental, além da diminuição do tempo de extração e consequentemente os custos envolvidos.

### 7.1.1 Espectroscopia no infravermelho (FTIR)

Para verificar os grupamentos químicos das pectinas extraídas realizou-se a análise de FTIR (Figura 9).

Figura 9 FTIR para pectina extraída do albedo e albedo+flavedo de laranja



Fonte: a autora.

Não foi possível verificar alterações nos grupamentos das pectinas extraídas do bagaço da laranja com e sem flavedo, indicando, que as pectinas obtidas apresentam os mesmos grupamentos químicos. As principais vibrações, referentes aos grupamentos funcionais, estão listadas no Quadro 1.

Quadro 1 Relação banda/atribuição da pectina

<b>Bandas observadas na pectina (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Atribuições</b>
<b>3385</b>	O-H
<b>2936</b>	C-H
<b>1747</b>	C=O
<b>1641</b>	COO <sup>-</sup>
<b>1440</b>	COO <sup>-</sup>
<b>1136</b>	COC das ligações do anel glicosídico
<b>1053</b>	C-C (anel piranosídico)
<b>995</b>	C-O (anel piranosídico)

**Fonte:** ABID et al., 2017; BEKHIT et al., 2016; MANRIQUE; FRANCO, 2002; GNANASAMBANDAM; PROCTOR, 2000; KAMNEV et al., 1998 apud Ribeiro (2017)

Entre as bandas de absorção comuns a ambos os espectros, destacam-se as bandas na região de 3385 cm<sup>-1</sup> que correspondem ao estiramento do OH, devido à umidade adsorvida nas amostras de pectina; bandas na região de 2936 cm<sup>-1</sup>, atribuídas ao estiramento do CH do grupo CH<sub>3</sub> presente na molécula de pectina; e as duas principais bandas encontradas na pectina, que são utilizadas para a determinação do grau de esterificação.

As bandas na região de 1747 cm<sup>-1</sup>, que é característica da deformação axial do grupo carbonila, C=O, do éster de metila, ou seja, dos grupos carboxílicos esterificados por metanol, COOCH<sub>3</sub>, e as bandas na região de 1641 cm<sup>-1</sup> a qual representa a deformação axial dos íons carboxilato, COO<sup>-</sup>, da carboxila livre, ou seja, dos grupos carboxílicos não esterificados.

Os íons carboxilatos apresentam uma banda de deformação axial muito fraca em torno de 1440 cm<sup>-1</sup>, de difícil quantificação, o que torna possível pequenas alterações no valor real do grau de esterificação, calculado a partir dos valores das áreas das bandas identificadas no FTIR (Gnanasambandam e Proctor, 2000; Silverstein e Webster, 2000; Monsoor, Kalapathy e Proctor, 2001a; Skoog, Holler e Nieman, 2002).

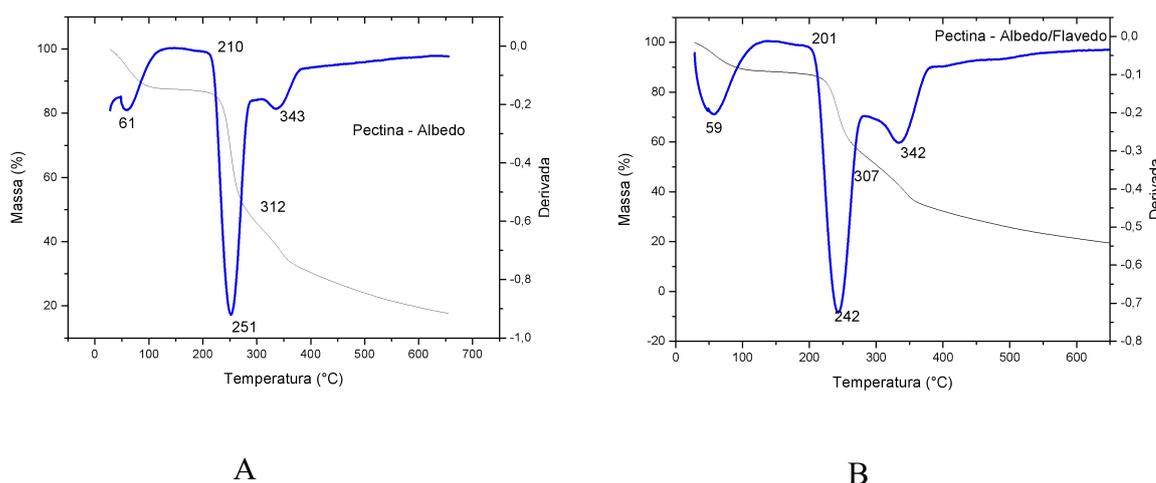
Além disso, foi possível calcular o grau de esterificação das pectinas obtidas, para isso, utilizou-se as bandas em  $1747\text{ cm}^{-1}$  e  $1641\text{ cm}^{-1}$ , referentes aos grupamentos  $\text{C}=\text{O}$  e  $\text{COO}^-$  (Quadro 1). As pectinas obtidas apresentam baixo grau de esterificação, 43% para Albedo e 45% para e albedo e flavedo. O baixo grau de esterificação em pectinas facilita a formação de gel em soluções com pH abaixo de 4,0 aumentando a viscosidade dessa pectina e facilitando a formação do filme (LIMA, 2007).

Lima 2007, observou bandas semelhantes a estas utilizando as mesmas faixas de comprimento de onda para calcular a esterificação da pectina extraída, indicando a desesterificação da pectina quando o tempo de extração está acima de 30 minutos e o pH abaixo de 2,2. Sendo assim, evento parecido pode ter ocorrido nesse estudo já que as pectinas apresentaram baixo grau de esterificação.

### 7.1.2 Análise termografimétrica (TGA)

Para verificar a degradação térmica das pectinas extraídas foi realizada a análise termogravimétrica (Figura 10 A, B).

Figura 10 TGA da pectina extraída do albedo (A) e albedo/flavedo (B).



Nota-se a presença de três estágios de degradação para as duas pectinas extraídas. No primeiro estágio, em uma faixa de temperatura entre 30 a 120 °C, ocorre a perda de água, tendo um pico da primeira derivada próximo a 60 °C. No segundo estágio, relativo a decomposição da pectina, por volta de 200 °C, observa-se que a temperatura de degradação é cerca de 9 °C maior para a pectina obtida do

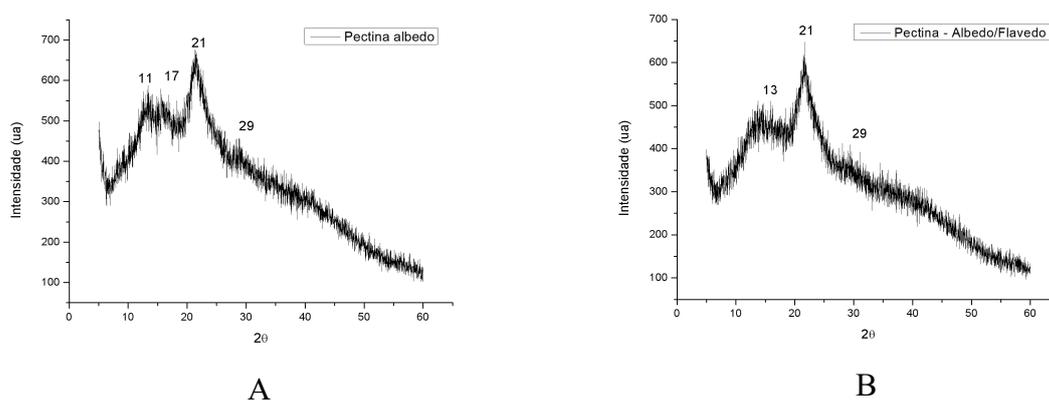
albedo, indicando que o flavedo promove uma pequena diferença na estabilidade térmica da pectina obtida. Mesmo fato observado para o terceiro estágio, com diminuição de 5 °C para pectina extraída na presença do flavedo, a degradação próxima a 300 °C é referente a carbonização da pectina. As pectinas extraídas tiveram comportamentos térmicos semelhantes entre si.

Einhorn, Kunzek e Dongowski (2007), observaram valores semelhantes para a degradação da pectina que ocorreu em 251°C, corroborando com os valores encontrados neste trabalho.

### 7.1.3 Difração de Raios X (Drx)

A análise de difração de raios X foi utilizada para verificar as propriedades cristalinas e não cristalinas das pectinas. Na Figura 11 pode-se observar que as estruturas são predominantemente amorfas, entretanto, foi possível visualizar alguns picos (11°, 17°, 21° e 29°), referente, a fração cristalina da pectina. Ao comparar as duas pectinas extraídas, uma pequena diferença pode ser observar na região de 11° a 17°, podendo indicar a formação de diferentes cristais. Estes dados corroboram com o difratograma obtido por Tian (2020).

Figura 11 DRX para pectina extraída do albedo (a) e do albedo/flavedo (b).



## 8. FILMES DE PECTINA

Apesar de ser extraída e caracterizada a pectina do bagaço da laranja, neste trabalho, os filmes foram elaborados com a pectina comercial da marca Adicel® grau de esterificação 49%, para minimizar os parâmetros envolvidos no processo de produção dos filmes.

### 8.1 Caracterização filmes

Os filmes foram preparados pela mistura dos polímeros pectina, amido e o plastificante sorbitol em diferentes proporções, as imagens dos filmes obtidos e proporções utilizadas de cada material podem ser vistos na Figura 12.

Figura 12 Filmes obtidos a partir da mistura de dois polímeros (pectina, amido e sorbitol) nas seguintes proporções: A -100% pectina, B - 75% pectina e 25% Amido, C - 50% pectina e 50% amido, D - 25% pectina 75 % amido.



100P (100% pectina)



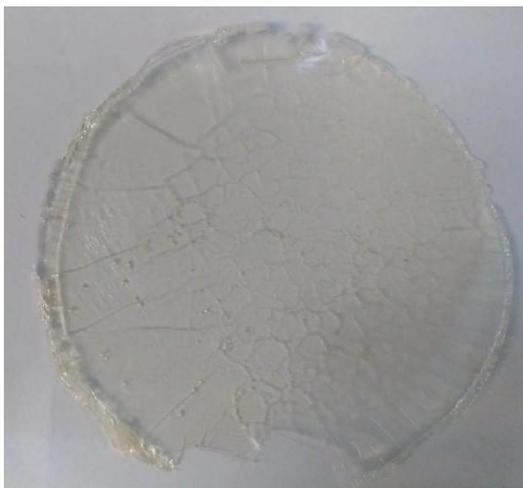
P75/A25 (75% pectina / 25% amido)



P50/A50 (50% pectina / 50% amido)



P25/A75 (25% pectina / 75% amido)



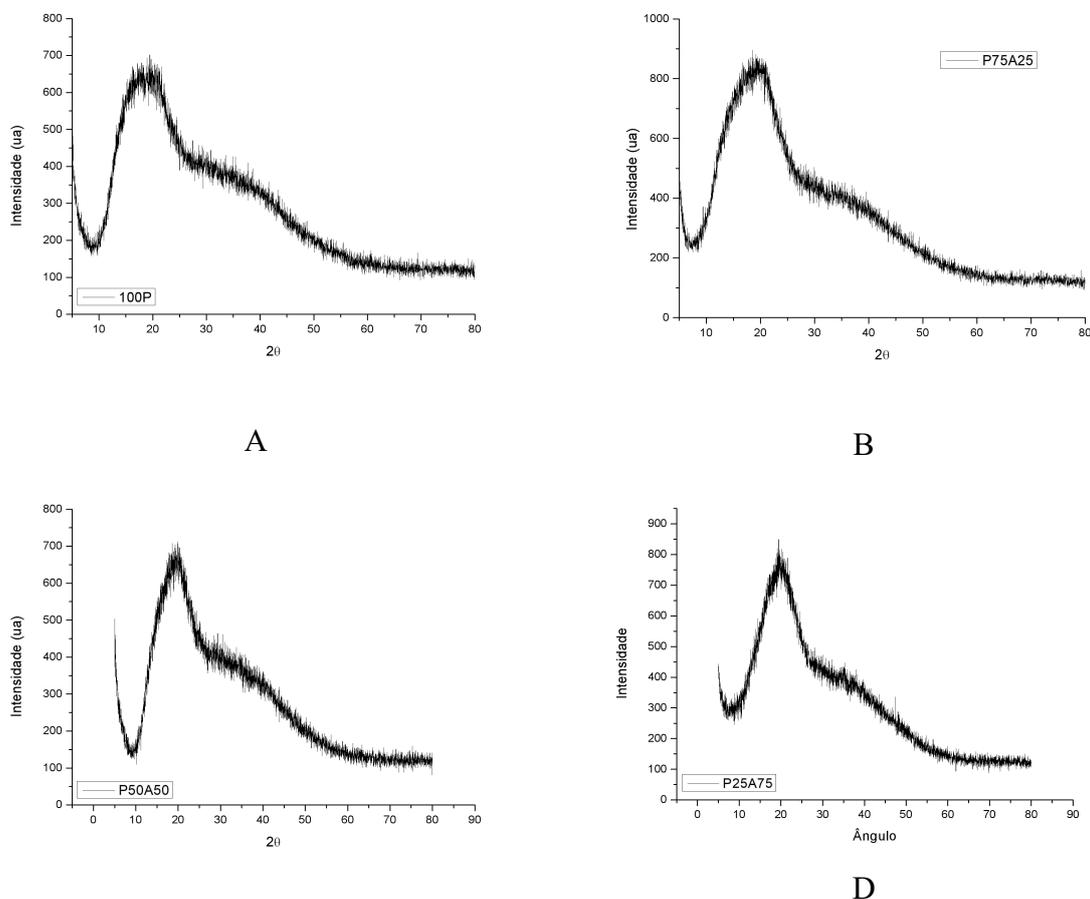
100A (100% Amido plastificado)

Pode-se observar que visualmente o filme composto por 25% de pectina e 75% de amido apresenta maior homogeneidade, além disso, filmes com concentrações elevadas de pectina apresentaram difícil homogeneização. O filme com 100% de amido ficou muito quebradiço, não sendo possível caracterizá-lo.

## 8.2 Difração de Raios X (Drx)

Ao analisar os DRX dos filmes (Figura 13), observa-se uma alteração no formato dos picos, indicando que após a formação dos filmes de pectina, amido e sorbitol, ocorre a perda dos picos cristalinos característicos da pectina devido a interação dos grupamentos químicos da pectina com os do amido, formando mais ligações de hidrogênio, fazendo com que as cadeias fiquem mais distantes umas das outras, dando mais maleabilidade nos filmes, tornando-os com características predominantemente amorfas. Segundo DENARDIN e SILVA (2008), a estrutura cristalina do amido é rompida quando suas moléculas são aquecidas em excesso de água, quando a água é eliminada as estruturas de amilose e amilopectina se reorganizam, isso faz com que a cristalinidade seja modificada, fazendo com que o pico de cristalinidade no filme com a inserção do amido seja menos definido.

Figura 13 DRX para a mistura de dois polímeros (pectina, amido e sorbitol) nas seguintes proporções: A -100% pectina, B - 75% pectina e 25% Amido, C - 50% pectina e 50% amido, D - 25% pectina 75 % amido.

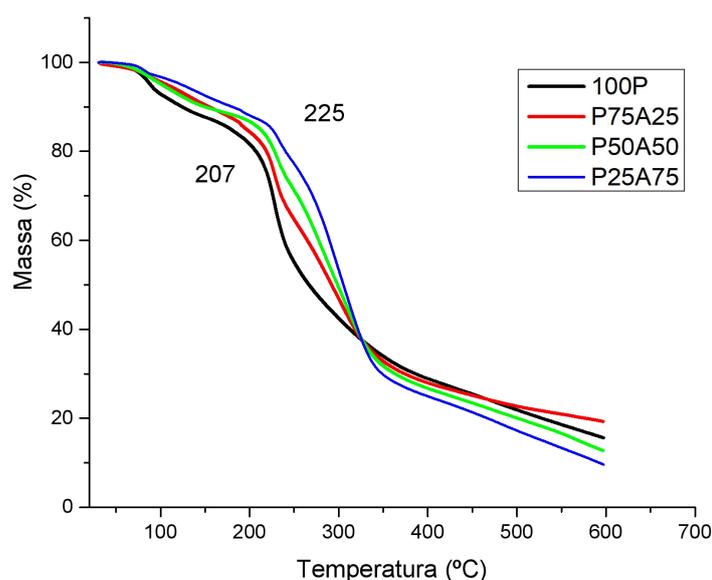


O difratograma obtido mostra que para os filmes com inserção do amido à pectina, foi possível observar uma perda na ordem estrutural com mudança nos picos de cristalização. Os picos característicos ficaram menos definidos, aparecendo somente um pico em aproximadamente  $20^\circ$ , corroborando com o estudo de SOEST E VLIEGENTHART (1997), diz que isso ocorre porque o grânulo de amido quando aquecido em excesso de água, sofre inchamento com consequente ruptura e a ordem estrutural desaparece, provocando mudanças ou até mesmo perda na cristalinidade dos mesmos.

### 8.3 Análise termogravimétrica (TGA)

Com o objetivo de avaliar a estabilidade térmica dos filmes, foi realizada as análises termogravimétricas (Figura 14), podendo-se observar que após a inserção do amido à pectina, houve o surgimento de mais um estágio de perda de massa nos filmes, possivelmente referente ao amido e plastificante, desta forma, a perda de massa foi observada em três estágios nos filmes contendo pectina e amido.

Figura 14 TGA para a mistura de dois polímeros (pectina e amido) nas seguintes proporções: 100% pectina, 75% pectina e 25% Amido, 50% pectina e 50% amido, 25% pectina 75 % amido.



Na análise termogravimétrica observa-se eventos muito próximos aos encontrados por Viégas (2016), o primeiro estágio está relacionado com a perda de

umidade dos filmes que ocorre entre 90 e 100 °C, o segundo estágio corresponde a decomposição inicial dos polissacarídeos e ocorre entre próximo a 210 °C para todos os filmes. O terceiro e último estágio corresponde a degradação total dos materiais, os filmes se degradam em uma temperatura próxima a 400° C.

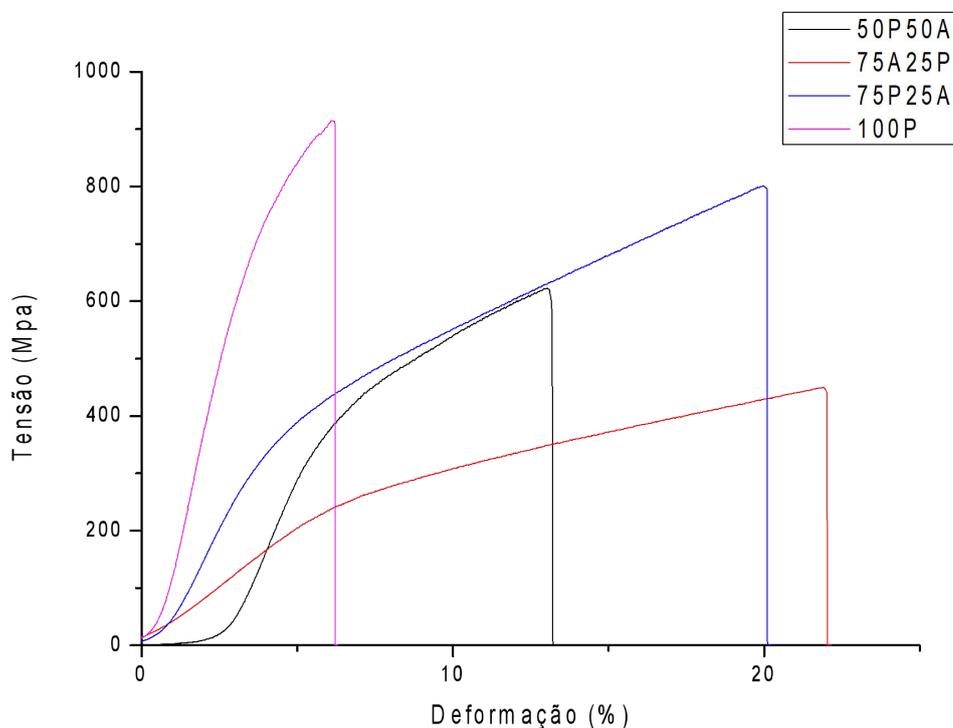
Os filmes apresentaram uma perda constante de massa até atingir a temperatura de degradação dos polímeros. O filme contendo somente pectina foi o que apresentou menor temperatura de degradação (207 °C), quando foi aumentada a quantidade de amido nestes filmes, observou-se um ganho de 18 °C no valor de início de degradação, para a maior porcentagem de amido (P25A75). Desta maneira, pode-se observar que a inserção do amido juntamente com o plastificante conferiu aos filmes uma estabilidade térmica maior.

#### **8.4 Análises mecânicas**

As propriedades mecânicas de tração expressam a resistência do material ao alongamento e ao rompimento quando submetido à tração e são úteis para a identificação e caracterização de filmes. Os filmes devem ter habilidade em resistir ao estresse normal encontrado durante sua aplicação, para que seja mantida a integridade e a propriedade de barreira (HENRIQUE, 2002).

A Figura 15 mostra as análises de tensão deformação para os filmes de pectina/amido contendo as diferentes proporções estudadas.

Figura 15 Análises mecânicas para a mistura de dois polímeros (pectina, amido e sorbitol) nas seguintes proporções: 50% pectina e 50% amido, 75% amido e 25% pectina, 75% pectina e 25% amido e 100% pectina.



Nota-se que filme contendo somente pectina apresentou maior resistência a tração, indicando, que este material é rígido, tornando o filme mais quebradiço. Ao inserir amido observou-se uma porcentagem de deformação maior, resultados parecidos foram obtidos por Gomes (2008), que utilizou filmes a base de amido e quitosana, em todos os filmes com 40% de amido houve a redução da tensão máxima e no módulo elasticidade, porém a deformação aumentou. Isso indica que apesar de perder em resistência ganhou em elasticidade. Indicando que este material possui maior flexibilidade, este comportamento é de grande importância para possíveis aplicações deste material como revestimento de alimentos, pois possui maior capacidade de se adaptar a eventuais deformações dos alimentos, conforme descrito por YANG e PAULSON (2000), corroborando com os resultados obtidos por meio das análises de DRX e TIR encontradas neste trabalho.

## 9. ANÁLISES DE ESPESSURA, SOLUBILIDADE EM ÁGUA, OPACIDADE E TRANSMISSÃO DE VAPOR DE ÁGUA (TVA)

Além da tensão e deformação, foi possível também avaliar a espessura, solubilidade em água e opacidade, os resultados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Espessura, Solubilidade em água, Opacidade

<b>FILMES</b>	<b>ESPESSURA (mm)</b>	<b>SOLUBILIDADE (%)</b>	<b>OPACIDADE (abs/mm)</b>
<b>P100</b>	<b>0,33</b>	<b>100%</b>	<b>1.14</b>
<b>P75A25</b>	<b>0,35</b>	<b>100%</b>	<b>1.07</b>
<b>P50A50</b>	<b>0,34</b>	<b>100%</b>	<b>0,93</b>
<b>P25A75</b>	<b>0,39</b>	<b>100%</b>	<b>0.88</b>

Fonte: A autora

A espessura dos filmes elaborados em diferentes concentrações de amido e pectina apresentaram-se semelhantes, variando de 0,33 a 0,39mm. Entretanto, o filme de maior espessura foi o P25A75, este resultado está de acordo com os obtidos por Paulino (2016), em que realizou a caracterização de filmes de amido de pinhão e observou que o filme que apresentou maior espessura foi o que teve maior teor de amido e o com menor espessura o que continha menor quantidade de glicerol. Corroborando com este estudo, o estudo de Paulino (2016) indica que os valores de espessura podem estar diretamente ligados a quantidade de amido empregado na formulação. Evento semelhante também foi observado por Moura (2008), ao produzir biofilmes a partir de fécula de lírio-do-brejo (*Hehychium coronarium*) e glicerol onde a espessura dos filmes foi influenciada pela porcentagem de amido, glicerol e método *Casting*, indicando que quanto maior a concentração de fécula e glicerol, maior a espessura dos filmes.

As análises de solubilidade mostraram que os filmes possuem alta solubilidade (100%) todos em 24 horas de solubilização, corroborando com o resultado encontrado por Batista (2004) que obteve filmes de pectina pura adicionados de ácidos graxos 100% solúveis em água. Evidenciando as características altamente higroscópicas das pectinas ao se desintegrarem em água indicando que esse biofilme pode ser usado como revestimento em alimentos, sendo

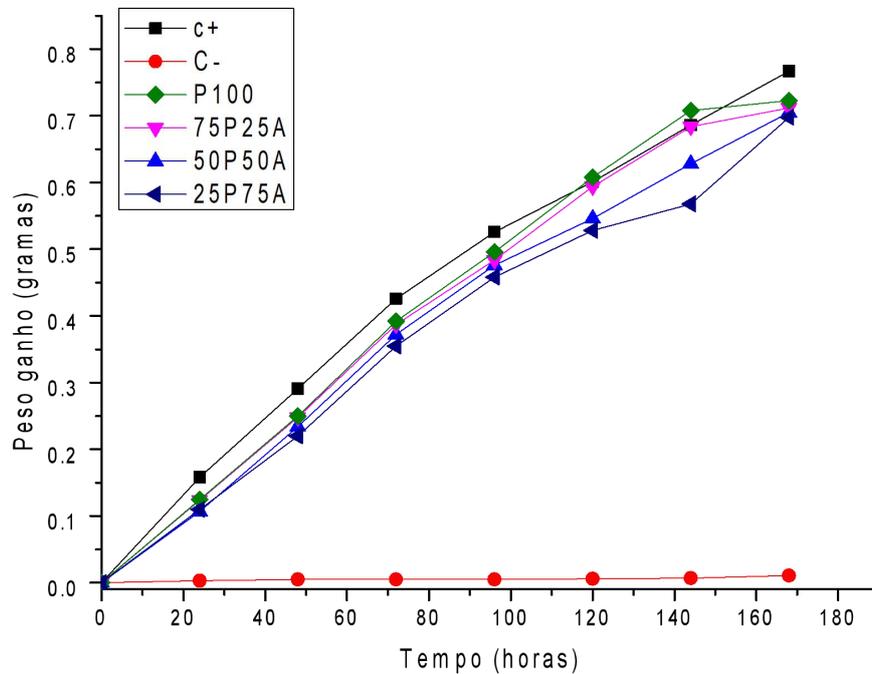
de fácil remoção durante a lavagem, podendo também ser consumido. Segundo Matta Júnior et al. (2011), a solubilidade em filmes a base de amido devido ao seu caráter hidrofílico onde tem mais afinidade com a água, os filmes tendem a apresentar valores altos de solubilidade facilitando sua remoção do local de aplicação.

De acordo com Fakhouri et al. (2007), quando houver a presença de exsudação, os biofilmes que possuem alta solubilidade não são indicados, desta forma, este filme pode ser usado em produtos semi-prontos destinados ao preparo sob cozimento (GUILBERT; BIQUET, 1989).

A opacidade é outro fator importante, pois a embalagem deve deixar o alimento atraente para o consumidor, nestas análises, os filmes tiveram pouca variação na opacidade, porém o filme (P25A75) foi o que obteve menor opacidade, corroborando com as imagens da Figura 11. Os filmes de menor opacidade se tornam mais vantajoso para alguns tipos de embalagens como a de alimentos, pois assim permite-se que o produto seja visto e avaliado pelo consumidor antes da compra, além de ser visualmente mais atrativo.

Foi avaliado também a TVA, esta análise é referente ao ganho de massa, pode-se observar que todos os filmes se comportaram de forma semelhante tendo um ganho de aproximadamente de  $100 \text{ g/m}^2/\text{h}$ , conforme figura 16, o filme (25P75A) foi o que absorveu menos vapor de água por conta das cadeias mais próximas do amido, demonstrando que com maior adição do amido o filme se tornou menos permeável que os demais, porém não houve diferença significativa na permeabilidade dos filmes. De acordo com Gontard et al. (1994) a migração de vapor de água influencia fortemente as reações químicas nos alimentos, propriedades de textura e estabilidade microbiana e física em produtos alimentícios, sendo considerada um dos principais fatores de alteração nos alimentos, levando a mudanças na estabilidade de estocagem e qualidade sensorial.

Figura 16 Transmissão de vapor de água dos filmes pectina, amido e sorbitol: C+ controle positivo, C – controle negativo, 100% pectina, 75% pectina e 25% amido, 50% pectina e 50% amido, 25% pectina e 75% amido



:

Matta Junior (2009), observou que a taxa de permeabilidade do filme de amido de ervilha (*Pisum sativum*), foi influenciada pela concentração de amido na solução filmogênica, gerando filmes de menor taxa de permeabilidade com o aumento da concentração de amido, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho onde o filme com maior concentração de amido (P25A75) obteve menor permeabilidade. Segundo Sobral (2000) e Mali et al. (2010), relatam que filmes contendo amido por serem permeáveis, podem ser indicados para embalagens de vegetais frescos.

Diante do apresentado, pode-se dizer que o filme (P5A75) obtido obtém boas características para ser utilizado em recobrimento de frutas e vegetais. Desta forma, foram preparados filmes a partir da pectina extraída do bagaço da laranja.

## 10. TESTES PRELIMINARES COM PECTINA EXTRAÍDA

Os filmes foram preparados usando a pectina do bagaço da laranja, pectina extraída do albedo e flavedo nas mesmas porcentagens (75% amido e 25% pectina) e parâmetros utilizados para fabricação dos filmes com a pectina comercial. A Figura 17 mostra os filmes obtidos a partir da pectina extraída. No teste inicial o filme despreendeu-se facilmente da placa petri e apresentou superfície homogênea e sem rachaduras, com boa transparência e maleabilidade e características sensoriais, visuais, e solubilidade muito semelhantes aos filmes fabricados com a pectina comercial.

Figura 17 Filme 25P75A (25% pectina e 75% amido) com pectina extraída do albedo/flavedo, amido e sorbitol



Serão necessárias as caracterizações físico químicas e morfológicas dos filmes, bem como sua aplicação em alimentos, entretanto, os filmes obtidos tanto com a pectina extraída, quanto com a comercial mostraram-se promissores para serem usados no recobrimento de alimentos, principalmente em vegetais frescos e também em frutas que são ingeridas juntamente com a casca, principalmente por conta da sua alta solubilidade e facilidade da remoção desse filme na hora da ingestão do alimento recoberto. A grande vantagem na utilização deste material seria a redução no impacto ambiental causados pelas embalagens plásticas usadas até o momento.

## 11. CONCLUSÃO

O estudo apresentado mostrou que houve boa interação entre os polímeros propostos sendo possível o desenvolvimento de biofilmes a base de pectina e amido de mandioca utilizando o sorbitol como plastificante, e a extração foi semelhante as obtidas por outros autores, apresentando um grau de esterificação pouco abaixo da pectina comercial.

Nos filmes obtidos do amido, pectina e sorbitol observou-se uma melhora nas propriedades dos filmes, tanto térmica quanto mecânica, por meio das análises de FTIR verificou-se que houve boa interação dos polímeros em todas as formulações apresentadas, com as análises mecânicas observou-se que o filme (P25A75) com 25% de pectina e 75% de amido apresentou boa propriedade de alongamento, taxa de transmissão de vapor de água, capacidade de absorção, além de diminuir a opacidade do material. O filme fabricado a partir da pectina extraída do bagaço da laranja, amido e sorbitol, teve características semelhantes ao filme da pectina comercial, indicando que ambas as blendas formadas por estes dois polímeros são promissoras para aplicação em embalagens de alimentos como vegetais frescos e frutas.

O melhor filme desenvolvido então para possível uso como revestimento de alimentos foi o (P25A75) com maior concentração de amido, demonstrando mais pontos positivos conforme as análises realizadas.

## 12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Atlas sócio econômico do Rio grande do Sul.** Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/laranja-e-tangerina>. Acesso em 29 nov 2021

Ayranci, E.; Tunc, S.; **Food Chem.** 2003, 80, 423.

BATISTA, J. A. **Desenvolvimento, caracterização e aplicações de biofilmes a base de pectina, gelatina e ácidos graxos em bananas e sementes de brócolos.** Dissertação de Mestrado. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 137 p., 2004.

BREITENBACH, L.G; CAETANO, J; CARDOSO, D. **Ação antimicrobiana de microfibras poliméricas contendo extrato de *Coix lachryma-jobi*.** Toledo, 2018. Dissertação (Mestrado em ciências ambientais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

CALLIARI, C. M. **Extração térmica, química e enzimática de pectina de bagaço laranja.** Londrina, 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) -

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e Manuseio**, 2a edição. Lavras: Ver. E ampl. UFLA, 2005, 785 p.

CHO, Y. J.; HWANG, J. K. **Modeling the yield and intrinsic viscosity of pectin in acidic solubilization of apple pomace.** Journal of Food Engineering, v. 44, n. 1, p. 85–89, 2000

CITRICOLA LUCATO. **Laranjas.** Disponível em: <http://www.citricolalucato.com.br/produtos?dep=101>.

COELHO, M. T. **Características e Aplicações em Alimentos.** Pelotas, 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal de Pelotas - UFPE – Departamento de Ciência dos Alimentos.

CUTTER, C.N. **Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods.** Meat Science, vol. 74, p. 131–142, 2006

DEBEAUFORT, F., QUEZADA-GALLO, J-A., VOILLEY, A. **Edible films and coatings: Tomorrow's packagings**: A review. *Critical Reviews in Food Science*, v.38, n.4, p.299-312, 1998.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. **Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.3, outubro 2008. p.945-954.

DOBRUCKA, R; CIERPISZEWSKI, R. **Active and Intelligent Packaging Food – Research and Development** – A Review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2014, Vol. 64, No. 1, pp. 7-15 DOI: 10.2478/v10222-012-0091-3 <http://journal.pan.olsztyn.pl>.

EINHORN-STOLL, U.; KUNZEK, H.; DONGOWSKI, G. **Thermal analysis of chemically and mechanically modified pectins**. *Food Hydrocolloids*, v. 21, n. 7, p. 1101-1112, 2007

EMBRAPA. (2013). TABELA - **Produção brasileira de laranja em 2013**. Disponível em:. Acessado em: 25 ago. de 2021.

FAKHOURI, F.M.; FONTES, L.C.B.; GONÇALVES, P.V. de M.; MILANEZ, C.R.; STEEL, C.J.; COLLARES-QUEIROZ, F.P. FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e prática**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FONTES, L. C. B. **Uso de solução conservadora e de películas comestíveis em maçãs da cultivar Royal Gala minimamente processadas: efeito na fisiologia e na conservação**. 118p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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

GODOY, R. L. O. et al. **Composição química e atividade antiinflamatória de óleo essencial de tetradenia riparia Hochst Codd**, 2001.

GOMES, M.M.A, **Preparação, caracterização e avaliação da biodegradabilidade de blendas de Amido/Quitossana/PVA**. Dissertação Doutorado em química orgânica - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

GONTARD, N. et al. **Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties**. International Journal of Food Science & Technology, v. 29, p. 39–50, fev. 1994

GUILBERT, S.; BIQUET, B. Les films et enrobage comestibles. In: BUREAU, G.; MULTON, J. L. **L'EMBALLAGE des denrées alimentaires de grande consommation.. Technique et documentation**. France, Lavoisier, Apria, p.320, 1989.

HAN, C.; ZHAO, Y., LEONARD, S.W., TRABER, M.G. **Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria × 100 ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*)**. Postharvest Biology and Technology, v. 33, p.67-78, 2004.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. **Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca**.Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 28, n. 1, p. 231-240, 2008.

ITDG. **Intermediate Technology Development Group. Fruits Wastes Utilization**. 2006. Disponível em: . Acesso em: fev. 2010.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação,194 p.2013

JUNIOR, ELIAS HAGE. **Aspectos Históricos sobre o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia de Polímeros**. Polímeros, São Carlos, v. 8, n. 2, p. 1-4, jun./1998.

KESTER, J. J., FENNEMA, O. R. **Edible films and coatings: a review**. Food Technology, v. 40, n.12, p.47-59, 1986.

KLIEMANN, Erika. **EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA PECTINA DA CASCA DO MARACU AMARELO (*Passiflora edulis flavicarpa*)**. 2006. Universidade

Federal de Santa Catarina, 2006. Disponível em:  
<<https://core.ac.uk/download/pdf/30369568.pdf>>

KROCHTA, J. M., DE MULDER-JOHNSTON, C. **Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities**, Food Technology, v.51, n.2, p.61–74, 1997

KUNZEK, H.; DONGOWSKI, G. **Thermal analysis of chemically and mechanically modified pectins**. Food Hydrocolloids, v. 21, n. 7, p. 1101-1112, 2007.

LADIM APM, Bernardo CO, Martins IBA, Francisco MR, Santos MB, Melo NR. **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil**. Polímeros, São Carlos, 2016.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. **Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.22, n.1, p.65-69, jan/abr. 2002

LICANDRO, G.; ODIO, C. E. Citrus by-products. In: DUGO, G. e DI GIACOMO, A. (Ed.). **Citrus: The genus *Citrus*** London: Taylor & Francis, 2002. cap. 11.

LIMA, M. **Isolamento da pectina em frutos e sua caracterização por espectroscopia de infravermelho**, 2007. Dissertação (mestrado) Federal de Pernambuco, Centro de ciências da saúde. Recife - PE

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- 156. 2010.

MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T. K.; MAHAJAN, P. V. **Applications of Plastic Films for Modified Atmosphere Packaging of Fruits and Vegetables: A Review**. Food Engineering Reviews, Davis, v. 1, p. 133-158, 2009.

MATTA JÚNIOR, M. D.; SARMENTO, S. B. S.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; ZOCCHI, S. S. **Propriedades de barreira e solubilidade de filmes de amido de ervilha associado com goma xantana e glicerol**. Polímeros, Piracicaba, v.21, n.1, p.67-72, 2011.

MATTA JUNIOR, Manoel Divino da. **Caracterização de biofilmes obtidos a partir de amido de ervilha (*Pisum sativum*) associado à goma xantana e glicerol**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MAY, C. D. **Industrial pectins: Sources, production and applications.** Carbohydrate Polymers, v. 12, n. 1, p. 79–99, Jan. 1990.

McHUGH, T. H., KROCHTA, J. M. **Sorbitol vs glycerol plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.42, n.4, p.841-845, 1994.

MELARE, J. **Embalagem inteligente visa redução de perdas, mas ainda esbarra em obstáculos.** Revista Ciência e Cultura [online], v. 66, n. 1, p. 0-18, 2014

METHACANON, P.; KRONGSIN, J.; GAMONPILAS, C. **Pomelo citrus maxima pectin: effects of extraction parameters and its properties.** Food Hydrocolloids, v. 35, n. 1, p. 383–391, 2014

MOHNEN, D. **Pectin structure and biosynthesis.** Current Opinion in Plant Biology, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 266 - 277, 2008.

MUNHOZ, C. L.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; SOARES JÚNIOR, M. S. **Extração de pectina de goiaba desidratada.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 30, p. 119-125, 2010.

PAULINO, Jéssica Aparecida. **Caracterização de filmes de amido de pinhão com atividade antimicrobiana.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PEREIRA, C. L. F. **Avaliação da sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais. estudo de caso: suco de laranja e etanol, 2008.** Dissertação de mestrado, UNICAMP.

PERUZZO, T; CANTO, E. **O que é o Sorbitol? Que riscos causa aos diabéticos?** Informe n.40. 2010. Disponível em: [http://www.professorcanto.com.br/boletins\\_qui/040.pdf](http://www.professorcanto.com.br/boletins_qui/040.pdf). Acesso em: 01 jun. 2016.

PETRIKOSKI, A. P., **Elaboração de biofilmes de amido de mandioca e avaliação do seu uso na imobilização de caulinita intercalada com ureia.** 131f. (Dissertação de mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013

PRATES, M. F. O.; ASCHERI, D. P. R. **Efeito da cobertura de amido de fruta-de-lobo e sorbitol e do tempo de armazenamento na conservação pós-colheita de**

**frutos de morango.** Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v.29, n.1. p. 21-32.2011

RIVAS, B.;TORRADO, A.;TORRES,P.;Converti, A.;Dominguex, J.M., 2008. **Submerged Citric Acid Fermentation on Orange Peel Autohydrolysate,** Journal of Agricultural and Food Chemistry.56.

SAKANAKA, L. S. **Confecção de filmes biodegradáveis por extrusão de blendas de amido termoplástico e polibutileno succinato co-adipato (PBSA).** 2007. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina.

SANTI, L.; BERGER, M.; SILVA, W. O. B. **Pectinases e pectina: aplicação comercial e potencial biotecnológico.** Caderno pedagógico 2014, 11, 130.

SCULLY, A.D.; HORSHAM, M.A. **Active packaging for fruits and vegetables.** In: WILSON, Charles L. (Ed.).2007

SERRANO, P.; FRANCO,. **Modificação Hidrotérmica (“Annealing”) e Hidrólise Enzimática do Amido de Mandioca.** Brazilian Journal of food Technology, v. 8, n. 3, p. 220-232, jul./set. 2005

SILVA, A.O. **Filmes biodegradáveis obtidos a partir de amido de mandioca, quitosana, gelatina e sorbitol utilizados no recobrimento de goiabas (Psidium guajava L.).** Toledo, 2017. Trabalho de conclusão de curso (TCC) em Química Bacharel – Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE.

SIRACUSA, V.; ROCCULI, P.; ROMANI, S.; DALLA ROSA, M. **Biodegradable polymers for food packaging:** a review. Trends in Food Science & Technology, v.19, p.634-643, 2008

SOARES, N. de F.F.; SILVA, W. A.; PIRES, A.C. dos S.; CAMILLOTO, G. P.; SILVA, P. S. **Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos.** Revista Ceres, vol.56, n. 4, p. 370-378, 2009.

SOEST, J. J. G. V.; VLIEGENTHART, J. F. G. **Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties.** Trends in Biotechnology, v. 15, n. 06, p. 208- 213, jun. 1997

SOUSA, L.C.F; SOUSA, J.S; BORGES, M.G.B; MACHADO, A.V; SILVA; M.J.S; FERREIRA, R.T.F.V; SALGADO, A.B. **Tecnologia de embalagens e conservação**

**de alimentos quanto aos aspectos físico, químico e microbiológico.** ACSA– Agropecuária Científica no Semiárido, v.8, n.1, p.19-27, jan-mar, 2012.

TANADA-PALMU, P. S.; FAKHOURI, F. M.; Grosso, C. R. F. **Filmes biodegradáveis: extensão da vida útil de frutas tropicais.** Biotecnologia: Ciência & Desenvolvimento, ano 5, n. 26, p. 12-17, maio/junho 2002.

TAVARES, V. B. et al. **Utilização do resíduo líquido de indústria de processamento de suco de laranja como meio de cultura de *Penicillium citrinum*: Depuração biológica dos resíduos e produção de enzima** Química Nova, v. 21, n. 6, p. 722-725, 1998.

THARANATHAN, R. N. **Biodegradable films and composite coatings: past, present na future.** Trends in Food Science & Technology. v.14, n.3, p.71-78, 2003.

TIAN L. A, ANUDWIPA SINGHB, AKHILESH VIKRAM SINGH. **Synthesis and characterization of pectin-chitosan conjugate for biomedical application.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 153, p. 533-538, 2020.

VAN SOEST, J. J. G; VLIEGENTHART, J. F. G. **Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties.** Trends in Biotechnology, Kidlington Oxford, v. 15, n. 6, p. 208- 213, 1997

VARGAS, M.; ALBORS, A.; CHIRALT, A.; GONZÁLEZ-MARTINEZ, C. **Quality of cold stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings.** Postharvest Biology and Technology, v.41, p. 164-171, 2006.

VARGAS, M.; PASTOR, C.; CHIRALT, A.; McCLEMENTES, D. J.; GONZÁLESMARTÍNEZ, C. **Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits.** Journal Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 48, n. 6, p. 496-511, 2008.

VASQUES, T. C. **Preparação e caracterização de filmes poliméricos a base de amido de milho e polipirrol para aplicação como biomaterial.** 2007. 140f. Dissertação (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007

VÁSQUEZ, R.S.; CARVANTES, E.L. **Antimicrobial and antioxidant activities of Mexican oregano essential oils** (*Lippia graveolens* H. B. K.) with different composition when microencapsulated in  $\beta$  cyclodextrin. *Letters in Applied Microbiology*, vol. 50, p. 585- 590, 2010

VIÉGAS, P. L.; **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. Dissertação mestrado em engenharia e ciência dis materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2016.

VIÑA, S. Z.; MUGRIDGE, A.; GARCÍA, M. A.; FERREYRA, R. M.; MARTINO, M. N.; CHAVES, A. R.; ZARITZKY, N. E. **Effects of polyvinylchloride films and edible starch coatings on quality aspects of refrigerated Brussels sprouts**. *Food Chemistry*, n. 103, p. 701709, 2007.

WIDMER, W.; ZHOU, W.; GROHMANN. K. **Pretreatment effects on orange processing waste for making ethanol by simultaneous saccharification and fermentation**. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 5242-49, 2010.

YAMASHITA , F. et al. **Embalagem ativa para frutos de acerola**. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 9, n. 2, p. 95-100, 2006.

YANG, L.; PAULSON, A. T. **Mechanical and water vapor properties of edible gellan films**. *Food Research International*, Amsterdam, v. 33, n. 7, p. 563-570, 2000.

YU, L.; DEAN, K.; LI, L. **Polymer blends and composites from renewable resources**. *Progress in: Polymer Science*, v. 31, p. 576-602, 2006.

ZANELLA, Karine. **Extração da Pectina da Casca da Laranja-Pera (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com Solução Diluída de Ácido Cítrico**. 2013. 23–33 f. Unicamp, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266586>>