

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JOÃO PEDRO KRAUSPENHAR LOPES**

**EXTRAÇÃO DE PECTINA DO LIMÃO TAHITI (*Citrus latifolia* Tanaka) PARA  
FORMAÇÃO DE BIOFILMES**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**

**JOÃO PEDRO KRAUSPENHAR LOPES**

**EXTRAÇÃO DE PECTINA DO LIMÃO TAHITI (*Citrus latifolia* Tanaka) PARA  
FORMAÇÃO DE BIOFILMES**

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 Dra. Maria Helene Giovanetti  
Canteri  
Coorientador(a): Prof.a Dra. Irede Angela Lucini  
Dalmolin

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**



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.

**JOÃO PEDRO KRAUSPENHAR LOPES**

**EXTRAÇÃO DE PECTINA DO LIMÃO TAHITI (*Citrus latifolia* Tanaka) PARA  
FORMAÇÃO DE BIOFILMES**

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: 30/novembro/2022

---

Maria Helene Giovanetti Canteri  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Irede Angela Lucini Dalmolin  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Bruno Azevedo Ferraz de Negreiros  
Mestrando  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

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

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**

## RESUMO

Com os diversos problemas ambientais enfrentados atualmente, a redução do uso de materiais de fontes não renováveis é uma estratégia para minimizar os danos causados à natureza. O biofilme, além de promover a substituição do plástico convencional, também gera a redução do volume de resíduos gerados pelas indústrias de sucos, devido sua formação ser, usualmente, a partir de substâncias poliméricas como a pectina, substância presente em cascas de frutas. Esses filmes são estruturas membranosas, formados a partir da secagem, em estufa, de um líquido rico em pectina com adição, ou não, de uma substância plastificante. A pectina, por sua vez, têm características espessantes e estabilizantes, e sua extração é realizada em temperaturas elevadas e em meio ácido. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo a formação de biofilmes a base de pó de pectina, extraída do mesocarpo do limão tahiti, com rendimento médio obtido de 14,36%. O biofilme teve a sua formação homogênea e de espessuras variadas, utilizando sorbitol como agente plastificante. Entre suas demais características estão sua tensão de ruptura de 31 kPa e seu percentual de alongação de 2,8%. Sua biodegradabilidade também apresentou resultados visuais satisfatórios. Apresenta-se então um material com variadas possibilidades de utilização, com produção versátil e de fácil implementação industrial.

**Palavras-chave:** bioplástico; pectina; resíduos; caracterização.

## **ABSTRACT**

With the various environmental problems currently faced, reducing the use of materials from non-renewable sources is a strategy to minimize the damage caused to nature. The biofilm, in addition to promoting the replacement of conventional plastic, also generates a reduction in the volume of waste generated by the juice industries, since its formation is usually from pectin, a substance present in fruit peels. These films are membranous structures, formed from the drying, in an oven, of a liquid rich in pectin with or without the addition of a plasticizing substance. Pectin, in turn, has thickening and stabilizing characteristics, and its extraction is carried out at high temperatures and mediated with acid. Thus, the present work aimed to form biofilms based on pectin powder, extracted from Tahiti lemon, which had an average yield of 14.36%. The biofilm had its homogeneous formation and of varied thicknesses, using Sorbitol as plasticizing agent. Among its other characteristics are its breaking tension of 31 kPa and its elongation percentage of 2.8%. Its biodegradability also presented satisfactory visual results. A material with varied possibilities of use is then presented, with a production versatility and easy industrial implementation.

**Keywords:** bioplastic; pectin; residue; characterization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Morfologia do Limão Tahiti	11
Figura 2 - Limão Tahiti	16
Figura 3 – Mesocarpo desidratado	17
Figura 4 – Farinha do mesocarpo obtida	17
Figura 5 – Suspensões em banho maria com agitação	18
Figura 6 – Gel de pectina em álcool	18
Figura 7 - Da filtração do gel à diluição do pó de pectina	20
Figura 8 - Filme formado pelo ensaio 6	24
Figura 9 - Filmes formados pelos ensaios 4 (esquerda) e 5 (direita)	25
Figura 10 – Processo de degradação do biofilme	25
Quadro 1 – Ensaios para formação do biofilme	23

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de limão no Brasil no ano de 2020	11
Tabela 2 - Rendimentos Obtidos	22
Tabela 3 – Viscosidade Cinemática diluída em concentração 1:10	23
Tabela 4 - Espessura dos filmes formados pelo ensaio 6	26
Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos filmes formados pelo ensaio 6	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	8
<b>2 OBJETIVOS</b>	9
<b>2.1 Objetivo geral</b>	9
<b>2.2 Objetivos específicos</b>	9
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	10
<b>3.1 Limão tahiti</b>	10
<b>3.2 Pectina - uma visão geral</b>	12
3.2.1 Extração de pectina	13
<b>3.3 Biofilmes</b>	14
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b>	16
<b>4.1 Matéria-prima</b>	16
<b>4.2 Preparo da farinha do mesocarpo do limão</b>	16
<b>4.3 Extração da pectina</b>	17
<b>4.4 ANÁLISE DA PECTINA OBTIDA</b>	19
4.4.1 Rendimento	19
4.4.2 Viscosidade reduzida	19
<b>4.5 Formação do biofilme</b>	19
<b>4.6 Análise e funcionalidades do biofilme</b>	20
4.6.1 Espessura	20
4.6.2 Propriedades Mecânicas	20
4.6.3 Biodegradabilidade	21
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	22
<b>5.1 Rendimento da extração de pectina</b>	22
<b>5.2 Viscosidade Reduzida</b>	22
<b>5.3 Biofilmes</b>	23
<b>5.4 Espessura</b>	25
<b>5.4 Propriedades Mecânicas</b>	26
<b>5.5 Biodegradabilidade</b>	27
<b>6 CONCLUSÃO</b>	28
<b>REFERÊNCIAS</b>	29



## 1 INTRODUÇÃO

Frutas cítricas, como limão e laranja, têm a casca ocupando de 5-20% do material total da fruta, correspondendo, na produção de sucos, a cerca de 55-60% dos resíduos gerados (HAMAPITOUR *et al.*, 2004). Enquanto parte desse volume é utilizado para produção de rações animais, uma larga quantidade desses resíduos é desperdiçada em aterros sanitários (TONINI; ALBIZZATI; ASTRUP, 2018), o que poderia ser evitada com a extração de compostos de valor agregado em sua estrutura.

A pectina, um composto presente na parede celular de plantas (PINHEIRO, 2007), vem sendo extraída desde o século XX por possuir características espessantes e gelificantes (VALDÉS *et al.*, 2015). Mesmo com menor quantidade de pesquisas publicadas a respeito da pectina extraída do limão, industrialmente, ainda parece ser a matéria-prima favorita há quase um século no Brasil (CIRIMINNA *et al.*, 2015). Sua recuperação é uma estratégia promissora para reduzir o volume de resíduos (DRANCA; OROION, 2018).

Em paralelo, o plástico, um dos poluentes que gera maiores desafios no quesito reciclagem nos dias de hoje (NIELSEN *et al.*, 2019), tem sua comercialização aumentada ano após ano, com expectativa de duplicar sua produção em 20 anos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016). A utilização de bioplásticos, gerados a partir de resíduos industriais, é uma ótima alternativa para substituir a utilização de plásticos convencionais (MCQUARRIE; BOLTZ, 2011), reduzindo a produção de dióxido de carbono, e a quantidade de materiais levados a aterros sanitários (KURDIKAR *et al.*, 2001).

Por possuir características de geleificação e alta solubilidade, a pectina é um ótimo composto base para produção de biofilmes, além de formar barreiras protetoras contra ar e óleo (LOPES *et al.*, 2017).

Nesse sentido, o presente trabalho visa produzir bioplásticos a base de pectina obtida de resíduos do limão tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka), fruto com grande produção e comercialização no Brasil, com a finalidade de implementar em embalagens para alimentos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Utilizar a pectina extraída do mesocarpo do limão como matéria-prima na formação de biofilmes.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Obter a pectina extraída da farinha do mesocarpo do limão desidratado;
- Caracterizar a pectina extraída com relação ao rendimento e viscosidade;
- Formar biofilmes com a pectina extraída do limão;
- Realizar testes de funcionalidades mecânicas e de biodegradabilidade nos biofilmes produzidos.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Limão tahiti

As frutas cítricas tropicais e subtropicais vem ganhando destaque economicamente nos últimos anos no Brasil com grande volume de produção e, muitas vezes exportação, de laranjas, tangerinas, limas e limões (PREVIDELI; DE ALMEIDA, 2020).

O limão “Tahiti” (*Citrus latifolia* Tanaka) teve sua origem no cruzamento de duas espécies, o limão Siciliano com a Lima-da-Pérsia (ROSSI; PANDOLFI, 2019). Acredita-se que suas primeiras aparições nas plantações da América tenham vindo do Tahiti, dando origem ao nome comercial que conhecemos hoje (MARTINELLI *et al.* 2018). De acordo com a CEAGESP (2011), citado por GOES (2012), o limão tahiti é considerado uma lima ácida, com floração, em um ano comum, entre setembro e outubro. Tem formato oval, casca lisa e poucas sementes. O seu líquido representa aproximadamente 35% da massa total do fruto e possui teores médios de 10° Brix, e 20 a 40 mg de vitamina C a cada 100 g de suco.

Segundo o IBGE (2020) o Brasil produziu no ano de 2020 1.518.215 toneladas de limão. Esse número para a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (2020) indica aproximadamente 7,42% da produção mundial, ficando atrás de números da China, Índia, México e Argentina. Dentre as regiões do Brasil, o Sudeste se destaca na produção, atingindo quase 80% da produção nacional, seguido do Norte, com 11,1% (IBGE, 2020). Na Tabela 1 estão indicados dados de produção de limão no ano de 2020 em diferentes regiões do Brasil.

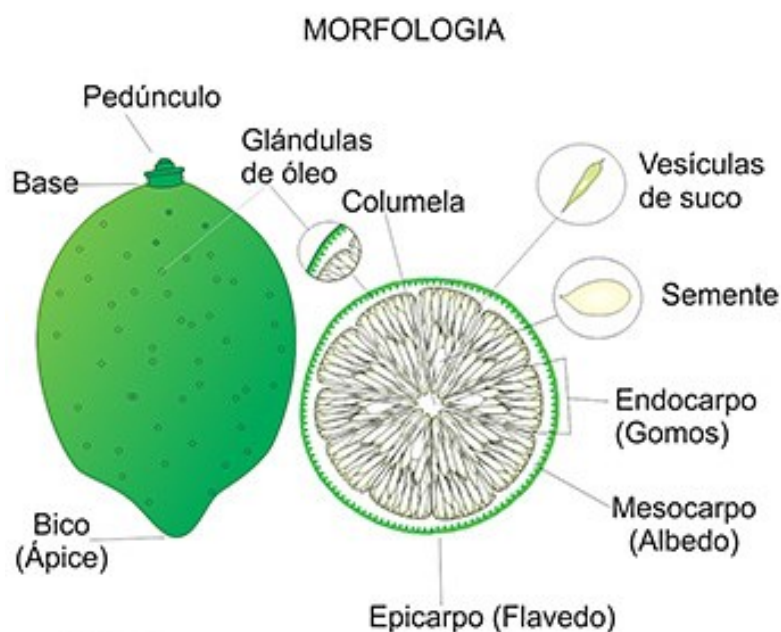
Tabela 1 - Produção de limão no Brasil no ano de 2020

Região	Área colhida (ha)	Quantidade Produzida (t)	Rendimento médio (t/ha)	(%)
Norte	7.226	175.474	24,28	11,1
Nordeste	9.540	116.949	12,26	7,4
Sudeste	38.574	1.248.951	32,38	78,8
Sul	2.386	32.811	13,75	2,1
Centro-Oeste	712	11.003	15,45	0,7
<b>Brasil</b>	<b>58.438</b>	<b>1.585.215</b>	<b>27,13</b>	<b>100</b>

Fonte: IBGE - Produção Agrícola Municipal (2020)

O limão pode ser dividido em 3 partes principais, sendo o epicarpo, o endocarpo e o mesocarpo (SILVA, 2015), como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Morfologia do limão tahiti



Fonte: CEAGESP (2022)

O mesocarpo - parte branca interna da casca desse tipo de fruto - é formado por polímeros, como lignina, pectina e celulose (VIANA, 2010). Dessa forma, tem grande potencial para retirada desses coprodutos. Usualmente esses compostos presentes são incorporados como agentes de volume em alimentos por possuírem baixa caloria e baixo custo, substituindo parcialmente compostos como farinha, açúcar e gordura em alimentos, alterando positivamente também seus níveis de emulsão ou

estabilidade oxidativa. Sua adição, em níveis consideráveis, não altera a cor e a textura do produto (ELLEUCH *et al.*, 2011).

### 3.2 Pectina - uma visão geral

A pectina faz parte de uma família de oligossacarídeos e polissacarídeos, com estruturas diversas, presente nas paredes celulares de vegetais. Sua função, ainda em seu meio natural, é o controle da porosidade da parede, a adesão de células, controle do meio iônico além de auxiliar nos mecanismos de defesa (CANTERI *et al.*, 2012). Além da pectina, outros dois polissacarídeos são responsáveis pela firmeza dos tecidos vegetais: a celulose e a hemicelulose. Entre esses, a pectina é o mais solúvel em água e mais sujeito a alterações enzimáticas durante seu processamento (VAN BUREN, 1979). Suas propriedades e sua composição variam de acordo com sua fonte e seu método de extração, porém, sua estrutura principal é comum. Trata-se de uma cadeia linear de ácidos  $\alpha$ -D-galactopiranosilurônico unidas por ligações 1→4 (DAMODARAN; PARKIN, 2018). De acordo com o comitê especialista em aditivos alimentares e a comissão europeia, a pectina precisa conter pelo menos 65% de ácido galacturônico em sua composição (MÜLLER-MAATSCH *et al.*, 2016).

Além disso, a pectina pode ser classificada de outras duas formas: pectina de baixo grau de esterificação e de alto grau de esterificação, menores e maiores, respectivamente, que 50%. O grau de esterificação indica como a molécula está ligada e de que forma a gelatinização ocorre. Pectinas de baixo grau possuem ligações de hidrogênio formando as associações em cadeia, já as de alto grau são formadas, além de ligações de hidrogênio, por ligações hidrofóbicas (KJONIKSEN; HIORTH; NYSTROM, 2005).

Desde a descoberta de seu poder geleificante, no início do século XX, a pectina vem sendo extraída a partir das sobras da produção de sucos e geleias de frutas. A produção industrial de pectina consiste em quatro passos, envolvendo extração, purificação, precipitação e esterificação (CAROÇO *et al.*, 2019). Muito utilizada como estabilizante, espessante e geleificante (VALDÉS *et al.*, 2015), pode ser aplicada em produtos como cápsulas, pacotes para alimentos e géis comestíveis (KUMAR *et al.*, 2020). A pectina desponta como solução para os resíduos sólidos derivados das

frutas, com alto valor de mercado e minimização do volume de lixo (SANTOS; LEAL; NERI, 2021).

O interesse por esse composto em especial decorre de sua baixa toxicidade, boa biocompatibilidade, biodegradabilidade e na sua facilidade de formação de hidrocoloides (AHMED; ZAHRAN; EMAM, 2016).

Estudos já apontam benefícios do consumo da pectina, como a redução do nível de colesterol e glicose sérica, além de atividades anticancerígenas. Os benefícios à saúde decorrem principalmente por sua composição e seus domínios estruturais, carregando consigo propriedades bioativas (NAQASH, *et al.*, 2017). Por ter odor e gosto aceitáveis, podem ser utilizados como ingrediente de baixa caloria para pessoas seguindo dieta anti-obesidade (CHEN *et al.*, 2013).

### 3.2.1 Extração de pectina

Em 1908 foram registradas as primeiras extrações de pectina na Alemanha. No Brasil, a primeira extração ocorreu já em 1954, na cidade de Limeira – SP. Os métodos dessa atividade tiveram grande desenvolvimento desde então. Esse processo geralmente é realizado em meio ácido com altas temperaturas (CANTERI *et al.*, 2012), envolvendo a extração aquosa da matéria-prima, a purificação desse líquido seguido da separação da pectina do restante do material (JOYE; LUZIO, 2000). O método de extração, o tipo de ácido, a temperatura e o pH do meio interferem diretamente na qualidade e na quantidade obtida (NASCIMENTO, 2014). Outras condições, como bom controle de temperatura e pressão, teor de umidade, assim como a polaridade e a volatilidade, são cruciais para um ótimo desempenho (ADETUNJI *et al.*, 2017).

Ácidos como tartárico e acético podem ser utilizados para a extração da pectina, porém são ácidos que apresentam resultados economicamente inviáveis. A extração realizada com ácido nítrico tem resultados satisfatórios, levando em conta a quantidade de pectina obtida, a sua massa molar e o nível de ácido urônico presente (SEIXAS *et al.*, 2014).

Maiores rendimentos são obtidos em temperatura e tempo elevado com valores baixos de pH. O aumento da hidrólise da protopectina (substância formada pela ligação covalente entre pectina, celulose e hemicelulose), nessas situações, promove a maior concentração de pectina no líquido final (OLIVEIRA, 2013). O nível de amadurecimento da fruta também afeta no resultado. Usualmente, o nível de pectina

solúvel decresce com o passar do tempo de maturação (SPILLER *et al.*, 2018). Porém, cada matéria-prima tem suas próprias características de extração, e se faz importante a regulagem dos parâmetros para não ocorrer danos químicos e físicos à sua estrutura (CAMPOS, 2021).

### 3.3 Biofilmes

Embalagens plásticas, utilizadas diariamente pela população global, têm a função básica de, durante o transporte do material, do seu meio de produção até o local de sua comercialização, garantir a não contaminação e interferências externas no produto. Os polímeros convencionais, derivados do petróleo, têm sido amplamente utilizados por sua versatilidade e funcionalidade de proteção, entretanto, são materiais não biodegradáveis, e utilizam de fontes não renováveis para sua produção, causando um problema ambiental. Dessa forma, revestimentos comestíveis à base de biopolímeros, como proteínas, polissacarídeos e lipídios, vêm sendo muito estudados por sua excelência na barreira contra oxigênio e óleo, assim como sua ótima preservação de aroma (VALDÉS *et al.*, 2015). A pectina, por possuir características gelificantes e alta solubilidade, tem ótimo desempenho para formação dos filmes (LOPES *et al.*, 2017)

O principal desafio na formação de filmes comestíveis e revestimentos alimentícios está na sua funcionalidade em conseguir manter as características do produto a ser protegido, com maior tempo de *shelf-life* possível (LAZARIDOU; BILIADERIS, 2020).

Um composto muito importante para sua formação é o plastificante; uma substância de baixa volatilidade que, ao se ligar à solução polimérica, modifica sua estrutura tridimensional e diminui a força de suas ligações intermoleculares, aumentando assim sua flexibilidade, extensibilidade e dispensabilidade enquanto sua rigidez sofre diminuição (ESPITIA *et al.*, 2013). Há dois tipos principais de agentes plastificantes: os capazes de formar ligações de hidrogênio, mantendo distâncias maiores entre as cadeias de polímeros; e os capazes de reter água, resultando em maior teor de umidade e maior raio hidrodinâmico. Entre os plastificantes mais utilizados podem ser citados a glicerina, o propilenoglicol e o sorbitol (HAN, 2014).

O ponto principal do biofilme é sua biodegradabilidade. Dessa forma, todos os compostos presentes na sua formação devem ser ambientalmente seguros. Agências

de segurança à saúde são responsáveis pela análise de toxicidade humana e segurança ambiental, cumprindo protocolos analíticos de verificação em caso de aplicações de biofilmes comerciais (HAN, 2014).

Há diversas maneiras para realizar a produção do biofilme, sendo o mais usual, conhecido como método *casting*, que consiste na técnica de despejar o líquido formador em uma placa reta antiaderente, seguido por sua secagem e remoção (ESPITIA *et al.*, 2013). Já se provou ser um método efetivo, resultando em produtos uniformes em espessura e sem rachaduras (ŠEŠLIJA *et al.*, 2017).



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Matéria-prima

Limões Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka) foram adquiridos em quantidade próxima a 5 kg (Figura 2), em mercado local do município de Francisco Beltrão - PR, dando preferência àqueles sem danos físicos externos. O material foi direcionado para a UTFPR campus Francisco Beltrão.

Figura 2 - Limão Tahiti



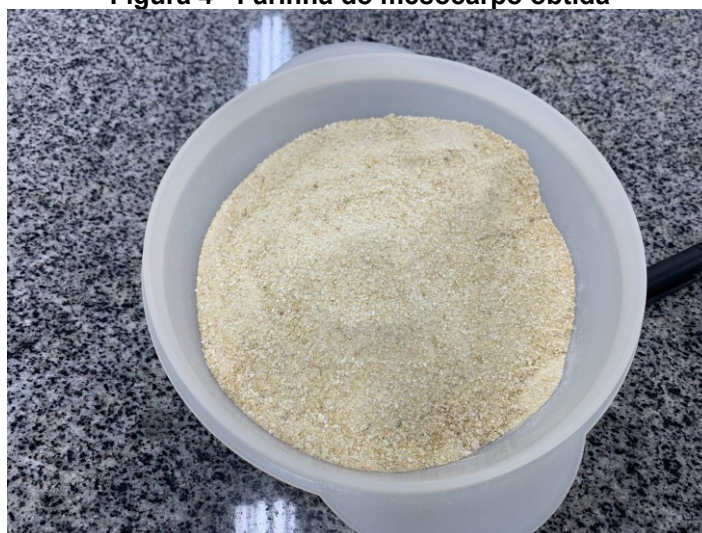
Fonte: Autoria própria (2022)

### 4.2 Preparo da farinha do mesocarpo do limão

Foi realizada a separação do mesocarpo do restante da fruta e levado a um choque térmico (branqueamento), passando primeiramente por um breve aquecimento em um micro-ondas, até a visível saída de vapor da matéria-prima, seguido pelo seu resfriamento através de um ventilador de teto. A amostra foi então direcionada a uma estufa de circulação e renovação de ar (SOLAB® - Modelo SL 102) a 50 °C por 36 horas para que fosse desidratada (Figura 3). A próxima etapa consistiu na trituração do material obtido em um liquidificador (Electrolux®), seguido de seu peneiramento, para obtenção da farinha (Figura 4).

**Figura 3 - Mesocarpo desidratado**

Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 4 - Farinha do mesocarpo obtida**

Fonte: Autoria própria (2022)

### 4.3 Extração da pectina

Com a farinha do mesocarpo do limão (aproximadamente 4 gramas) em água destilada (190 mL) e ácido nítrico 1mol/L (10 mL), formando uma suspensão, foi realizado o aquecimento da solução em banho-maria metabólico (SOLAB® - Modelo SL 157) em temperatura próxima a 90 °C por 30 minutos com agitação (Figura 5), seguido de seu resfriamento em bacia com gelo. Uma filtração através de filtro de tecido sintético, foi feita a partir da suspensão, seguido da adição de etanol 96 °GL (aproximadamente 400 mL) a 4 °C. Após 24 horas de repouso uma nova filtração foi realizada, obtendo um gel com alta quantidade de pectina (Figura 6). O próximo passo

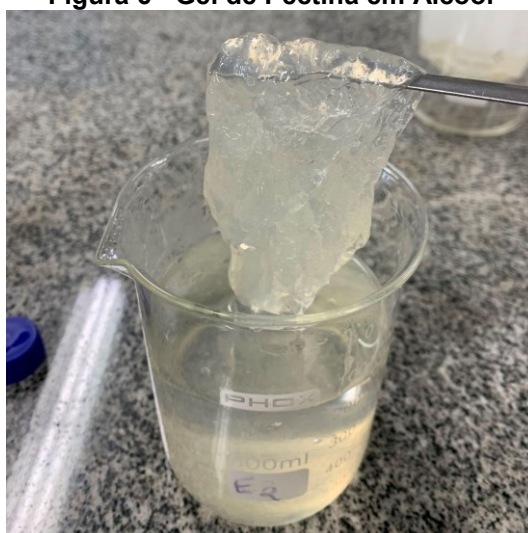
consistiu na adição de aproximadamente 30 mL de acetona onde foi levado para a maceração em um gral de porcelana com pistilo, para a máxima retirada do álcool. Sua secagem aconteceu em estufa a 40 °C por 24 horas a fim de se obter pectina em pó. A partir desse passo, o pó de pectina foi encaminhado a uma balança analítica para a pesagem. Todas as metodologias descritas foram realizadas em triplicata, seguindo metodologias de Canteri (2012).

**Figura 5 - Suspenções em banho-maria com agitação**



Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 6 - Gel de Pectina em Álcool**



Fonte: Autoria Própria (2022)

## 4.4 ANÁLISE DA PECTINA OBTIDA

### 4.4.1 Rendimento

O rendimento da pectina obtida a partir do limão Tahiti foi calculado pela razão entre o produto pronto e a massa total de mesocarpo utilizada, conforme Equação 1.

$$\text{Rendimento (\%)} = 100 * \left( \frac{\text{Pectina extraída (g)}}{\text{Massa inicial (g)}} \right) \quad (1)$$

### 4.4.2 Viscosidade reduzida

Para essa caracterização reológica, dispersões preparadas pela dissolução do líquido obtido da extração de pectina em água destilada foram pipetadas em um viscosímetro capilar Schoot (capilar 150, tipo 51310 Cannon-Fenske, Constant  $k=0,035$ ), imerso em recipiente com água a 50 °C controlada por termômetro. O tempo de escoamento foi registrado três vezes, para cada amostra, com cronômetro para determinar o valor absoluto de viscosidade cinemática de acordo com uma tabela específica para o viscosímetro. O tempo de escoamento foi registrado em triplicata com cronômetro para determinar o valor absoluto de viscosidade cinemática, de acordo com a equação (CANTERI, 2010; SI Analytics GmbH, 2022).

$$\eta_{\text{cin.}} = K (t - E_c) \quad (2)$$

Onde:

$\eta_{\text{cin.}}$  = viscosidade cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )

$K$  = constante para o capilar n° 150 (admissional)

$t$  = média do tempo de escoamento (s)

$E_c$  = correção da energia cinética presente no ANEXO 1 (s)

## 4.5 Formação do biofilme

Com o pó de pectina já extraído, recomenda-se, segundo Yapo e Koffi (2006), realizar a dispersão em solução salina. Consiste na adição de 100 mL de solução salina contendo 0,09 mol/L de cloreto de sódio (NaCl), e 0,001 mol/L de EDTA seguido

de seu aquecimento e agitação em banho-maria a 50 °C (Figura 7).

Foram então realizadas adições de 1 mL de sorbitol, como plastificante, em 100 mL de amostra, antes de ser levada para a formação do filme, a qual foi realizada pelo método *casting*. Esse método consiste no despejo da solução sob uma placa antiaderente reta de polipropileno (placa de Petri), seguido de sua secagem em estufa por 24 horas a 45 °C.

Diferentes ensaios sequenciais foram realizados, corrigindo as hipóteses de erros ocorridos no ensaio anterior. O *Ensaio 6* foi qual obteve melhor formação, e foi esse o responsável pelas demais análises de filmes.

**Figura 7 - Da filtração do gel à diluição do pó de pectina**



Fonte: Autoria própria (2022)

## 4.6 Análise e funcionalidades do biofilme

### 4.6.1 Espessura

A análise da espessura foi realizada com paquímetro digital em posições diferentes do filme. O resultado final foi obtido pela média aritmética e desvio padrão dos valores encontrados.

### 4.6.2 Propriedades Mecânicas

Para obtenção de valores de tensão de ruptura e percentual de alongação foi utilizado um texturômetro (Marca Stable Micro System - Modelo TA.XT2). Os parâmetros de força de tração e distância de alongação foram realizados com pequenos fragmentos de medida 5 x 3 cm.

Dessa forma, o cálculo da tensão de ruptura a partir da equação 3

$$Tr = \frac{Fm}{As} \quad (3)$$

Onde  $Tr$  é a tensão de ruptura (Pascal),  $Fm$  (Newton) é a força de tração e  $As$  a área do filme ( $m^2$ ).

Para cálculos do percentual de alongação é utilizado a equação 4:

$$A(\%) = (D \div Do) \times 100 \quad (4)$$

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

#### 4.6.3 Biodegradabilidade

Enterrando um filme, dividido igualmente em duas partes, de forma completa em recipiente preenchido com 20 cm de terra comercial durante seis dias e em ambiente com incidência solar e chuva, foi possível compreender o tempo para o biofilme se decompor na natureza. Essas análises foram feitas de maneira visual, analisando o progresso a cada dois dias.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Rendimento da extração de pectina

Os valores de rendimento obtidos em 3 ensaios diferentes, assim como o rendimento médio estão presentes na Tabela 2.

**Tabela 2 - Rendimentos Obtidos**

Ensaio	Rendimento (%)	Rendimento Médio (%)*
1	15,07	14,36 ± 1,89*
2	12,21	
3	15,79	

\*Média ± desvio padrão

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Estudos recentes mostram que rendimentos entre 5 e 25% podem ser atingidos utilizando limão tahiti e ácido nítrico, sendo que o artigo de Badge *et al.* (2017) apresentou valores próximos a 11%, relativamente similares ao obtido no presente estudo. Alguns pontos com possíveis interferências nos valores de rendimento de extração puderam ser observados, como: falta de controle de temperatura de aquecimento e resfriamento e perda de material durante as extrações, não sendo possível realizar a filtração das amostras de forma completa.

### 5.2 Viscosidade Reduzida

Para ser possível utilizar o viscosímetro foi necessária a diluição em água destilada com concentração 1:10. A pectina sem diluição apresentava um tempo de escoamento mais alto que 150 s., tempo máximo encontrado para correção na tabela (ANEXO 1) de correção de energia cinética (*Hagenbach Couette Correction*). Isso indiretamente indica sua ótima qualidade para aplicação no aumento da viscosidade de dispersões coloidais. Os tempos obtidos no equipamento estão descritos na Tabela 3. Para o cálculo, foi considerada a constante para o capilar n° 150 que corresponde a 0,035, bem como foi realizada a correção da energia cinética para o respectivo capilar e tempo de 80 segundos.

**Tabela 3 - Viscosidade Cinemática diluída em concentração 1:10**

Amostra:	Tempo de passagem (s):	Tempo médio (s):	Viscosidade (mm <sup>2</sup> /s):
1	88,33 ± 2,51		
2	84,00 ± 2,64	86,11 ± 2,59	2,80
3	89,00 ± 1,73		

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Sendo o valor de viscosidade obtido em tabela pré-determinada pelo próprio viscosímetro, foi necessário fazer uma interpolação de dados para maior precisão do resultado.

### 5.3 Biofilmes

O Quadro 1 apresenta a ordem cronológica de como os ensaios foram realizados, corrigindo as hipóteses de erros causados no experimento anterior.

**Quadro 1 - Ensaios para formação do Biofilme**

Ensaio:	Descrição:
1:	Pectina levada para secagem em estufa ainda com grande quantidade de álcool presente.
2:	Biofilme formado a partir da pectina com a remoção parcial do álcool. Diluída em solução salina com auxílio de agitador mecânico
3:	Biofilme formado com a mesma solução do ensaio 2, sem presença de plastificante.
4:	Biofilme formado a partir de pectina com remoção parcial do álcool e adição de acetona. Dividida manualmente em pequenos fragmentos, foi diluída em solução salina, com agitação e aquecimento em banho maria. Utilizados paralelamente 40 e 50 mL para cada filme.
5:	Biofilme formado com a mesma solução do ensaio 4, utilizando glicerol como plastificante.
6:	Biofilme formado a partir de pectina parcialmente seca, com adição de acetona, antes de ser levada à estufa para formação do pó de pectina. Esse diluído em água destilada, com agitação e aquecimento em banho maria, seguido da adição de sorbitol. Utilizados 55 e 35 mL, paralelamente, para cada filme.

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Os filmes formados apresentaram diferentes características a partir de cada ensaio. Mesmo com as mesmas condições de extração da pectina, pequenas



alterações modificaram consideravelmente a qualidade dos biofilmes, sendo o *ensaio 6* o que apresentou a melhor formação (Figura 8)

**Figura 8 - Filme formado pelo ensaio 6**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

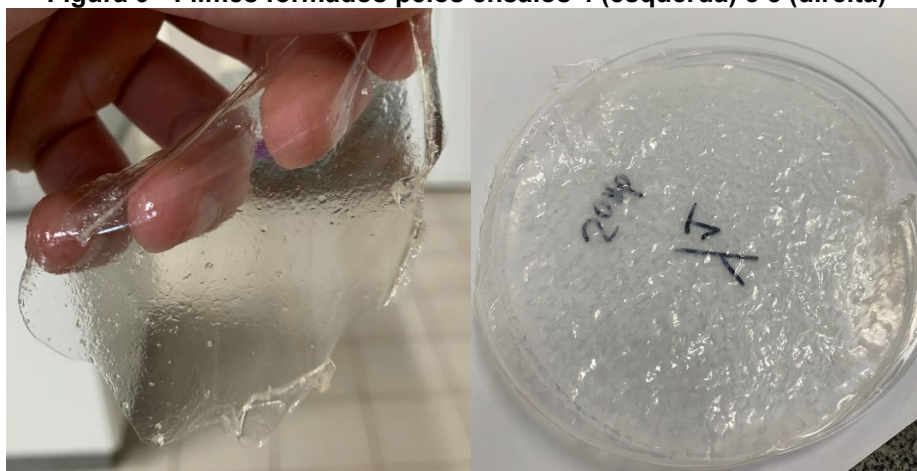
Apesar de necessário para a formação do gel, o álcool se tornou um problema se tratando de filmes. O *ensaio 1* foi afetado por sua presença, quando, mesmo com temperaturas inferiores a 50 °C, o gel de pectina ficou queimado durante o processo de secagem em estufa, e o pó não teve formação adequada. Filtrações mais eficientes, além de adição de acetona, foram necessárias para aumentar ao máximo a sua separação do gel e conseqüentemente a formação ideal do pó de pectina.

A não adição de plastificante tornou inviável a formação de um filme, onde ficou evidente através do *ensaio 3*, sendo que o líquido sobre a placa ficou aparentemente queimado, sua estrutura não formou um filme, e sua remoção se tornou impossível. Cada plastificante também conduziu o filme para diferentes texturas, sendo o sorbitol o responsável pela formação de um produto mais rígido e consistente.

A formação do pó de pectina, apesar de não essencial segundo a literatura, teve grande influência para a melhor formação do biofilme. O *ensaio 2*, onde o próprio gel foi utilizado, formou filmes muito maleáveis, e de texturas “pegajosas”. Já os *ensaios 4 e 5* (Figura 9) não foram capazes de se solubilizar completamente na dispersão coloidal, formando filmes com espessuras variadas devido as diversas

elevações.

**Figura 9 - Filmes formados pelos ensaios 4 (esquerda) e 5 (direita)**



Fonte: Autoria própria (2022)

A utilização de solução salina por sua vez não foi necessária. O pó de pectina conseguiu se solubilizar de forma homogênea em pequenas quantidades de água destilada, aumentando assim a sua translucidez.

A quantidade de líquido despejada implicou na facilidade de sua remoção, assim como na maleabilidade obtida. Alterando continuamente seu valor durante os ensaios foi constatado que para a solução formada, e para o tamanho da placa, a quantidade de 55 mL foi a que propiciou a melhor formação. Sua remoção aconteceu de forma simples, sem formar rachaduras, adquirindo um filme homogeneamente espesso conforme apresenta a Figura 4.

#### **5.4 Espessura**

Os resultados de espessura para três diferentes filmes, formados a partir do *ensaio 6*, estão indicados na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Espessura dos filmes formados pelo Ensaio 6

Biofilme	Espessura(mm)	Espessura Média (mm)*
1	0,05	
2	0,07	0,06 ± 0,01*
3	0,07	

\*Média ± desvio padrão

Fonte: Autoria própria (2022)

Observa-se que os filmes formados tiveram espessura média de 0,06 mm. Número que pode variar dependendo da quantidade de líquido formador é despejado sobre a placa e a concentração de plastificante. No trabalho de Siqueira (2019) os filmes formados tiveram espessuras semelhantes às obtidas neste trabalho, com média de 0,07 mm. Já Jesus (2017), conseguiu obter filmes entre 0,07 mm e 0,28 mm.

#### 5.4 Propriedades Mecânicas

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos para os valores de tensão de ruptura e percentual de alongação para 3 diferentes filmes formados a partir do ensaio 6.

Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos filmes formados pelo ensaio 6

Biofilme	Tensão de Ruptura(kPa)	Percentual de alongação(%)
1	23,46	2,98
2	41,83	3,89
3	27,71	1,55

Fonte: Autoria própria (2022)

Os testes fornecem uma Tensão de Ruptura média de  $31 \pm 9,61$  kPa, o que comparado ao trabalho de Ramos (2021), é um valor consideravelmente alto, tendo em vista a tensão de ruptura obtida de  $0,87 \pm 0,22$  kPa. Porém, BATISTA *et al.* (2005) obtiveram valores superiores a 54 MPa, mesmo com espessuras similares às apresentadas neste trabalho.

Para o percentual de alongação médio, seu valor ficou em  $2,8 \pm 1,17$  %, o que condiz com os trabalhos de BATISTA (2005) e, mesmo com diferentes espessuras de filmes, com RAMOS (2021).

## 5.5 Biodegradabilidade

O filme enterrado permaneceu com consistência, tamanho e massa muito semelhantes durante seus cinco dias em terra comercial seca (Figura 10). Porém, em seu sexto dia, com a chuva ocorrida na cidade de Francisco Beltrão - PR, local onde o vaso esteve durante todo o processo, o filme se degradou de forma completa, sendo possível encontrar apenas pequenos fragmentos menores de 2 cm, que se despedaçaram completamente na tentativa de sua retirada.

**Figura 10 - Processo de degradação do biofilme**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

## 6 CONCLUSÃO

Conclui-se que a produção de biofilmes a partir da pectina extraída do mesocarpo do limão tahiti é viável, com metodologias de fácil acesso, sem a necessidade de maquinários avançados e com a qualidade esperada. Mesmo sem um controle efetivo da concentração de pectina em cada etapa, a formação ficou homogênea e semelhante em diversos ensaios distintos.

Sendo assim, torna-se uma opção efetiva para a minimização de resíduos que utilizam da fruta como matéria-prima, assim como a possível substituição do plástico convencional para inúmeras possibilidades, como camadas de controle entre fatias de alimentos como queijo e massa de pastel.

A extração de pectina apresentou rendimento médio de 14,36%, valores que podem ser otimizados, alterando características apresentadas, como maior controle de temperatura, e, principalmente, no método de filtração, que apesar de veloz e eficiente, foi responsável por grande volume de perdas no processo. Visivelmente a dispersão coloidal possuía alto nível de viscosidade, sendo os dados de sua viscosidade cinemática, mesmo em diluição em água destilada em concentração de 1:10, de 2,80 mm<sup>2</sup>/s.

O processo de formação do filme, foi extremamente eficiente e versátil, com possibilidades de alterar rapidamente sua concentração, espessura, e com diferentes moldes, sua forma física. Apresentou valores médios de tensão de ruptura (31 kPa) e percentual de alongação (2,8%), o que indica que os filmes não apresentavam características quebradiças, sendo o seu corte realizado de forma fácil e precisa.

O filme não apresentou rachaduras, porém algumas bolhas se formaram no processo de mistura do plastificante, o que pôde ser removido rapidamente pela passagem da amostra em cuba de ultrassom, mas também deixando-a descansar alguns minutos antes de despejá-la sobre o placa de Petri.

Entre suas demais características, apresentou biodegradabilidade, uma vez que se degradou completamente em seis dias, enterrado em terra comercial sobre condições ambientais padrões do sudoeste do Paraná. A presença de umidade na terra, causado pela chuva, teve clara interferência no processo de degradação, acelerando o processo no último dia.

## REFERÊNCIAS

- ADETUNJI, L. R. *et al.* Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 62, p. 239–250, 2017.
- AHMED, H. B.; ZAHRAN, M. K.; EMAM, H. E. Heatless synthesis of well dispersible Au nanoparticles using pectin biopolymer. **International journal of biological macromolecules**, v. 91, p. 208-219, 2016.
- BATISTA, J. A.; TANADA-PALMU, P. S.; GROSSO, C. R. F. Efeito da adição de ácidos graxos em filmes à base de pectina. **Food Science and Technology**, v. 25, p. 781-788, 2005.
- BOCHEK, A. M.; ZABIVALOVA, N. M.; PETROPAVLOSVSKII, G. A. Determination of the esterification degree of polygalacturonic acid. **Russian Journal of Applied Chemistry**, v. 74, n. 05, p. 775-777, mai. 2001.
- BRITO, K. D. *et al.* Elaboração e avaliação físico-química da farinha de cascas do limão tahiti. IV Encontro Nacional da Agroindústria, 2018.
- CAMPOS, N. A. **Métodos de extração de pectina: uma revisão.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Rondônia, Rondônia, 2021.
- 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. Disponível em: <<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00480892/document>> Acesso em 12 de junho de 2022.
- CANTERI, M. H. G. *et al.* Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**, v. 22, p. 149-157, 2012.
- CAROÇO, R. F. *et al.* Analysis and model-based optimization of a pectin extraction process. **Journal of food engineering**, v. 244, p.159-169, 2019
- CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. **Limão.** Disponível em <<https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/limao/>>. Acesso em maio de 2022.
- CHEN, Jun *et al.* Pectic-oligosaccharides prepared by dynamic high-pressure microfluidization and their in vitro fermentation properties. **Carbohydrate polymers**, v. 91, n. 1, p. 175-182, 2013.
- CIRIMINNA, R. *et al.* Pectin: A new perspective from the biorefinery standpoint. **Biofuels, Bioprod. Biorefining**, vol. 9, n. 4, p. 368-377, 2015.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema.** 5a Edição, 2018.

GOES, T. S. *et al.* Caracterização física e físico-química de frutos do limão “Tahiti”(Citrus latifolia T.) cultivados em Guaraciaba do Norte-CE. **Revista Cultivando o Saber**, v. 5, n. 3, p. 14-21, 2012.

SANTOS, E. S. B.; LEAL, I. L.; NERY, T. B. R. Extração de pectina das frações de epicarpo e mesocarpo de casca de cacau. **VI Seminário de Avaliação de Pesquisa Científica e Tecnológica SENAI CIMATEC**, 2021. Disponível em: <<https://doity.com.br/anais/sapcticpad2021/trabalho/185742>>. Acesso em 12 de junho de 2022.

DRANCA, F.; OROIAN, M. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. **Food Research International**, v. 113, p. 327-350, 2018.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. The new plastics economy: Rethinking the future of plastics. **World economic forum**, 2016. Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics>>. Acesso em 12 de junho de 2022.

ELLEUCH, M. *et al.* Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. **Food chemistry**, v. 124, n. 2, p. 411-421, 2011.

ESPITIA, P. J. P. *et al.* Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties - A review. **Food hydrocolloids**, v. 35, p. 287-296, 2014.

FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops and livestock products.** FAOStats. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 26 de Abril de 2022.

HAMAPITOUR, M. S. *et al.* Potential for industrial utilization of citrus by products. **CHISA 16th Int. Congress of Chemical and Process Engineering**, p. 215-223, 2004.

HAN, J. H. Edible films and coatings: a review. **Innovations in food packaging**, p. 213-255, 2014.

HARRIS, P. T. *et al.* Exposure of coastal environments to river-sourced plastic pollution. **Science of The Total Environment**, v. 769, p. 145222, 2021.

IBGE. -**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Produção Agrícola Municipal.** Tabela 5457 – Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resulta>>. Acesso em: 25 de Março de 2022.

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.

JOYE, D. D.; LUZIO, G. A. Process for selective extraction of pectins from plant material by differential pH. **Carbohydrate Polymers**, v. 43, n. 4, p. 337-342, 2000.

KAZEMI, M.; KHODAIYAN, F.; HOSSEINI, S. S. Eggplant peel as a high potential source of high methylated pectin: Ultrasonic extraction optimization and characterization. **Lwt**, v. 105, p. 182-189, 2019.

KJØNIKSEN, A. L., HIORTH, M., NYSTROM, B. Association under shear flow in aqueous solutions of pectin. **European Polymer Journal**, v. 41, p. 761-771, 2005.

KUMAR, M. *et al.* Emerging trends in pectin extraction and its anti-microbial functionalization using natural bioactives for application in food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 105, p. 223-237, 2020.

KURDIKAR, Devdatt *et al.* Greenhouse gas profile of a plastic material derived from a genetically modified plant. **Journal of Industrial Ecology**, v. 4, n. 3, p. 107-122, 2000.

LAZARIDOU, A.; BILIADERIS, C. G. Edible films and coatings with pectin. **Pectin: Technological and physiological properties**, p. 99-123, 2020.

LONDOÑO, J. *et al.* Aprovechamiento de los subproductos cítricos. **Corporación Universitaria Lasallista**, p. 343-367, 2012.

LOPES, I. A. *et al.* Characterization of pectin biofilms with the addition of babassu mesocarpo and whey protein concentrate. **Amer. Journal Mat. Sci**, v. 7, p. 64-70, 2017.

MARTINELLI, R. *et al.* Roçagem ecológica com *Urochloa* spp.: opção de manejo integrado de plantas daninhas que promove a agricultura de conservação em citros, 2018.

MCQUARRIE, J. P.; BOLTZ, J. P. Moving bed biofilm reactor technology: process applications, design, and performance. **Water environment research**, v. 83, n. 6, p. 560-575, 2011.

MÜLLER-MAATSCH, J. *et al.* Pectin content and composition from different food waste streams. **Food Chemistry**, v. 201, p. 37-45, 2016.

NAQASH, F. *et al.* Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin — A Review. **Carbohydrate polymers**, v. 168, p. 227-239, 2017.

NASCIMENTO, F. A. **Extração da pectina do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*)**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

NIELSEN, T. D.; HASSELBALCH, J.; HOLMBERG, K.; STRIPPLE, J. Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle. **WIREs energy environment**, v. 9, n. 1, 2019.



OLIVA, F. A. *et al.* Cultura do Limão no Brasil: Custo de Produção e Lucratividade. **Colloquium Agrariae**, vol. 13, p. 65-70, 2017.

PINHEIRO, E. R. **Pectina da casca do maracujá amarelo (*passiflora edulis flavicarpa*)**: otimização da extração com ácido cítrico e caracterização físico-química. 2007. (Pós Graduação em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PREVIDELI, F. D.; ALMEIDA, M. M. Y. O Mercado “In Natura” do Limão Tahiti. **Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 409-416, 2020.

RAMOS, A. C. D. **Elaboração de Biofilmes a Partir da Pectina Extraída do Mesocarpo da Laranja Pera**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.

ROSSI, P. L.; PANDOLFI, M. A. C.. Análise de Mercado da Lima Ácida Tahiti. **Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 255-263, 2019.

SEIXAS, F. L. *et al.* Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) by microwave-induced heating. **Food Hydrocolloids**, v. 38, p. 186-192, 2014.

ŠEŠLIJA, S. *et al.* Edible blend films of pectin and poly (ethylene glycol): Preparation and physico-chemical evaluation. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 494-501, 2018.

SILVA, A. **Análise da secagem de Limão Tahiti (*Citrus Latifolia* - TANAKA) em fatias e de suas frações: epicarpo, mesocarpo e endocarpo**. 2015. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

SPILLER, S. H. *et al.* Modificações nos métodos de extração de pectina em goiabas cv. “Pedro Sato” durante amadurecimento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

TONINI, D.; ALBIZZATI, P. F.; ASTRUP, T. F. Environmental Impacts of Food Waste: Learnings and Challenges from a Case Study on UK. **Waste Management**, vol. 76, p. 744–766, 2018.

VALDÉS, A.; BURGOS, N.; JIMÉNEZ, A.; GARRIGÓS, M. C. Review: Natural Pectin Polysaccharides as Edible Coatings. **Coatings**, v. 5, n. 4, p. 865-886, 2015.

VAN BUREN, J. P. The chemistry of texture in fruits and vegetables. **Journal of Texture Studies**, v. 10, n.1, p. 1–23, 1979.

VIANA, D. S. **Limão (*Citrus latifolia*, Tanaka), cv. tahiti, de cultivos convencional e orgânico biodinâmico**: avaliação da capacidade antioxidante dos sucos in natura e clarificados por membranas de microfiltração. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

YAMADA, H. Contribution of pectins on health care. **Progress in biotechnology**. Elsevier, p. 173-190, 1996.

YAPO, B. M.; KOFFI, K. L. Yellow passion fruit rind- a potential source of low-methoxyl pectin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 2738-2744, 2006.

## ANEXO 1

**10 Table of the kinetic energy correction (HC) for:**

(Hagenbach Couette Correction)

**Cannon-Fenske viscometer**

Routine Viscometer type no. 546 ..

Correction seconds<sup>1</sup>:

Flow time [s]	Capillary no.				
	25	50	75	100	150
50	–	–	–	1.09	0.28
60	–	–	(2.10) <sup>2</sup>	0.76	0.19
70	–	–	(1.55) <sup>2</sup>	0.56	0.14
80	(4.71) <sup>2</sup>	(3.70) <sup>2</sup>	1.18	0.43	0.11
90	(3.72) <sup>2</sup>	(2.93) <sup>2</sup>	0.93	0.34	0.09
100	(3.01) <sup>2</sup>	(2.37) <sup>2</sup>	0.76	0.27	0.07
110	2.49	1.96	0.63	0.23	0.06
120	2.09	1.65	0.53	0.19	0.05
130	1.78	1.40	0.45	0.16	0.04
140	1.54	1.21	0.39	0.14	0.03
150	1.34	1.05	0.34	0.12	0.03
160	1.18	0.93	0.30	0.11	–
170	1.04	0.82	0.26	0.09	–
180	0.93	0.73	0.23	0.08	–
190	0.83	0.66	0.21	0.08	–
200	0.75	0.59	0.19	0.07	–
220	0.62	0.49	0.16	0.06	–
240	0.52	0.41	0.13	0.05	–
260	0.45	0.35	0.11	0.04	–
280	0.38	0.30	0.10	0.03	–
300	0.33	0.26	0.08	–	–
350	0.25	0.19	0.06	–	–
400	0.19	0.15	0.05	–	–
450	0.15	0.12	–	–	–
500	0.12	0.10	–	–	–

\* For precision measurements, the correction seconds in the brackets should not be used. If necessary, a viscometer with a narrower capillary is to be used.

<sup>1</sup> The correction seconds given are based on the particular theoretical constant.

Type no.	Capillary no.	Capillary $\varnothing_1$ (mm)	Constant K (Approx. value)	Measurement range mm <sup>2</sup> /s (cSt) (Approx. value)	
... 00	25	0.30	0.002	0.4	to 1.6
... 03	50	0.44	0.004	0.8	to 3.2
... 01	75	0.54	0.008	1.6	to 6.4
... 10	100	0.63	0.015	3	to 15
... 13	150	0.77	0.035	7	to 35
... 20	200	1.01	0.1	20	to 100
... 23	300	1.26	0.25	50	to 200
... 21	350	1.52	0.5	100	to 500
... 30	400	1.92	1.1	240	to 1200
... 33	450	2.30	2.5	500	to 2500
... 40	500	3.20	8	1600	to 8000
... 43	600	4.10	20	4000	to 20000