

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Desenvolvimento Tecnológico**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia De Materiais**



Dissertação de mestrado

**Filmes biodegradáveis à base de amido de milho incorporados com celulose  
obtida a partir da coroa do abacaxi**

**Alexandra Augusta Reichert**

Pelotas, 2021

**Alexandra Augusta Reichert**

**Filmes biodegradáveis à base de amido de milho incorporados com celulose  
obtida a partir da coroa do abacaxi**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Amanda Dantas de Oliveira

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

R349f Reichert, Alexandra Augusta

Filmes biodegradáveis à base de amido de milho incorporados com celulose obtida a partir da coroa do abacaxi / Alexandra Augusta Reichert ; Amanda Dantas de Oliveira, orientadora. — Pelotas, 2021.

84 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Compósitos. 2. Fibras. 3. Embalagens. 4. Resíduos. 5. Sustentabilidade. I. Oliveira, Amanda Dantas de, orient. II. Título.

CDD : 620.11063

**Alexandra Augusta Reichert**

**Filmes biodegradáveis à base de amido de milho incorporados com celulose  
obtida a partir da coroa do abacaxi**

**Data da defesa:** 03/08/2021

**Banca examinadora:**

---

Prof. Dra. Amanda Dantas de Oliveira (Orientadora)  
Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São  
Carlos

---

Prof. Dr. Marcéo Auler Milani  
Doutor em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Juliano Marini  
Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São  
Carlos

---

Prof. Dra. Cristiane Wienke Raubach Ratmann (Suplente)  
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de São Carlos

## **Agradecimentos**

Primeiramente gostaria de agradecer à orientadora Amanda Dantas de Oliveira, por ser uma pessoa inspiradora, pelas oportunidades, orientação, amizade, preocupação e troca de conhecimentos durante todos estes anos.

Aos colegas do laboratório LabCom por todo companheirismo, conversas, ajudas e sugestões. Este grupo se tornou uma família e deixaram os dias no laboratório mais acolhedores e alegres.

Ao Restaurante Escola da UFPel pela disponibilização e fornecimento dos resíduos de coroa de abacaxi. Ao pesquisador Ernestino Guarino da Embrapa Clima Temperado pela doação de insumos e disponibilização do laboratório para realização da microscopia óptica.

Aos laboratórios Novonano por todo suporte de laboratório, ao CDC-Bio pelas caracterizações de FTIR, ao Ceme-Sul pela realização das análises de difração de raios-X. Também ao Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados (UFPI) pela realização da termogravimetria. Ao Dr. Eduardo Backes, pela disponibilidade de tempo ao efetuar o ensaio de tração e DSC, ao Laboratório de materiais poliméricos do Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar (DEMa/UFSCar).

Gostaria de agradecer também à Capes pela concessão da bolsa. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais e à Universidade de Pelotas por toda a infraestrutura e suporte para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao meu companheiro Thales por compartilharmos desta experiência de mestrado juntos, também por todo amor, ajuda, contribuições e incentivo na pesquisa.

## Resumo

REICHERT, Alexandra Augusta. **Filmes biodegradáveis à base de amido de milho incorporados com celulose obtida a partir da coroa do abacaxi**. 2021. 84 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

Com a crescente degradação do meio ambiente, sente-se a necessidade de buscar alternativas sustentáveis para a utilização de materiais de forma mais consciente. Sendo assim, este trabalho teve o intuito de desenvolver compósitos biodegradáveis na forma de filmes à base de amido de milho, incorporados com celulose extraída do resíduo de coroa de abacaxi para aplicação em embalagens. A celulose foi obtida a partir da coroa do abacaxi por tratamento alcalino seguido de branqueamento. As fibras de coroa de abacaxi e a celulose foram caracterizadas por análise termogravimétrica (TGA), difração de raios-X (DRX) e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), a partir destas análises foi possível verificar que os tratamentos foram efetivos para isolar as fibras de celulose. Para o preparo dos filmes, os mesmos foram produzidos por *casting*, que consistiu em uma solução formadora de filme a partir do amido de milho, glicerol e da celulose, adicionada em diferentes concentrações (5%, 10% e 15%), além do filme controle de amido puro. Não foram encontradas diferenças significativas nos valores de espessura e gramatura dos biocompósitos em relação ao filme de amido puro. Os biocompósitos se mostraram menos solúveis em água e o filme com 15% de celulose apresentou menor permeabilidade ao vapor d' água em relação ao filme de amido puro. Em relação à caracterização térmica através de calorimetria exploratória diferencial (DSC), não houve variações significativas na temperatura de fusão e temperatura de gelatinização dos filmes. Ao analisar as propriedades mecânicas, foi visto que o módulo de elasticidade dos biocompósitos aumentou em relação ao filme sem adição de reforço, dando destaque para o compósito com 15% de reforço, com aumento de 377,76%. Já em relação à resistência a tração não houve diferenças ao se adicionar o reforço, possivelmente em função da dispersão das fibras. Através do ensaio de fitotoxicidade, foi possível notar que o acréscimo dos filmes ao solo não influencia negativamente a germinação e crescimento de sementes de alface (*Lactuca sativa*). Sobre o ensaio de biodegradação, os filmes foram completamente degradados ao fim dos 60 dias de experimento. Os resultados da análise de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) realizada nas amostras após a degradação não apresentaram alterações nos espectros. Dos filmes elaborados pode-se ressaltar o biocompósito contendo 15% de celulose, pois apontou aumento no módulo de elasticidade, melhores resultados de propriedades de barreira e rápida biodegradação inicial. Este material demonstra grande capacidade para ser aplicado em embalagens de rápida utilização.

**Palavras chaves:** Compósitos; Fibras; Embalagens; Resíduos; Sustentabilidade.

## Abstract

REICHERT, Alexandra Augusta. **Biodegradable films based on corn starch incorporated with cellulose obtained from the pineapple crown**. 2021. 84 p. Dissertation - Postgraduate Program in Materials Science and Engineering. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2021.

With the increasing degradation of the environment, there is a need to seek sustainable alternatives for the use of materials in a more conscious way. Therefore, this work aimed to develop biodegradable composites in the form of films based on corn starch, incorporated with cellulose extracted from the waste pineapple crown for application in packaging. First, cellulose was obtained through the pineapple crown by alkaline treatment followed by bleaching. Pineapple crown fibers and cellulose were characterized by thermogravimetric analysis (TGA), X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), from these analyzes it was possible to verify that the treatments were effective to isolate cellulose fibers. For the preparation of the films, they were produced by casting, which consisted of a film-forming solution from corn starch, glycerol and cellulose, added in different concentrations (5%, 10%, 15%), in addition to pure starch control film. No significant differences were found in the thickness and grammage values of the biocomposites in relation to the pure starch film. The biocomposites proved to be less soluble in water and the film with 15% cellulose showed less water vapor permeability in relation to the film of pure starch. Regarding the thermal characterization through DSC, there were no significant variations in the melting temperature and gelatinization temperature in the films. When analyzing the mechanical properties, it was seen that the elasticity module of the biocomposites increased in relation to the film without adding reinforcement, giving highlight for the composite with 15% reinforcement, with an increase of 377.76%. Regarding the tensile strength, there were no differences when adding reinforcement, possibly due to the dispersion of the fibers. Through the phytotoxicity test, it was possible to notice that the addition of the films to the soil does not negatively influence the germination and growth of lettuce seeds (*Lactuca sativa*). Regarding biodegradation, the films were completely degraded after 60 days of experiment. FTIR analysis after degradation showed no changes in the spectra. From the elaborated films, it is possible to highlight the biocomposite containing 15% cellulose, as it showed an increase in the elasticity module, better results of barrier properties and rapid initial biodegradation. This material demonstrates great capacity to be applied in packages of quick use.

**Keywords:** Composites; Fibers; Packaging; Waste; Sustainability.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Destinação dos resíduos sólidos.....	20
Figura 2 - Esquema da biodegradação de polímero. ....	23
Figura 3 - Estrutura química da (A) amilose e (B) amilopectina. ....	26
Figura 4 - Ilustração de fibra lignocelulósica. ....	28
Figura 5 - Molécula de celulose.....	30
Figura 6 - Imagens de A) coroa do abacaxi, B) fibras obtidas a partir da coroa, C) celulose. ....	38
Figura 7 - Imagens de A) Amido, B) <i>casting</i> , C) solução formadora de filme vertida em placa de Petri, D) filme. ....	39
Figura 9 - Ensaio de taxa de permeabilidade ao vapor d'água. ....	42
Figura 10 - Sementes de alface recém plantadas. ....	44
Figura 8 - sistema de biodegradação: a) disposição dos corpos de prova, b) sistema completo com todas as retiradas.....	45
Figura 11 - Espectros de FTIR da fibra de coroa de abacaxi e celulose. ....	47
Figura 12 - DRX da fibra de coroa de abacaxi e celulose. ....	48
Figura 13 - Análise termogravimétrica das fibras de coroa de abacaxi e celulose. ...	50
Figura 14 - DTG das amostras de fibras de coroa de abacaxi e celulose. ....	50
Figura 15 - Flexibilidade dos filmes, A) Amido Puro, B) Biocompósito com 5% celulose, C) Biocompósito com 10% celulose, D) Biocompósito com 15% celulose.	53
Figura 16 - Gráfico da taxa de permeabilidade ao vapor d' água dos diferentes filmes. * Valores seguidos por pelo menos uma letra em comum apontam distinções não significativas em condição de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ). ....	56
Figura 17 - Curvas de DSC dos filmes. ....	57
Figura 18 - Valores médios relacionados ao Módulo de Young dos corpos de prova ensaiados. * Valores seguidos por pelo menos uma letra em comum apontam distinções não significativas em condição de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ). ....	59
Figura 19 - Valores médios relacionados à resistência à tração dos corpos de prova ensaiados. *Valores seguidos por pelo menos uma letra em comum apontam distinções não significativas em condição de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ). ....	60
Figura 20 - Imagens de microscopia dos filmes de: A) Amido puro, B) Biocompósito com 5% de celulose, C) Biocompósito com 10% de celulose, D) Biocompósito com 15% de celulose. ....	61

Figura 21 - Mudanças de alface após 20 dias do plantio. ....	62
Figura 22 - Aspecto visual das amostras após ensaio de biodegradação.....	66
Figura 23 - Aspecto visual das amostras de 0 e 60 dias após a exposição em meio externo. ....	67
Figura 24 - Espectros de FTIR antes e após degradação dos filmes de A) Amido puro, B) Biocompósito com 5% de celulose, C) Biocompósito com 10% de celulose, D) Biocompósito com 15% de celulose. ....	68

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Porcentagem de constituintes da coroa do abacaxi.....	29
Tabela 2 - Formulação dos filmes .....	38
Tabela 3 - Valores do índice de cristalinidade das amostras .....	49
Tabela 4 - Dados obtidos para espessura e gramatura dos diferentes filmes.....	52
Tabela 5 - Dados da análise de solubilidade dos filmes em água.....	53
Tabela 6 - Dados da perda de massa e taxa de permeabilidade ao vapor d' água dos filmes.....	55
Tabela 7 - Dados obtidos das curvas de DSC.....	58
Tabela 8 – Dados do peso fresco e seco das plântulas.....	63
Tabela 9 - Média em gramas dos pesos das amostras com o passar do tempo.....	64
Tabela 10 - Porcentagem de perda de massa. ....	64

## Lista de equações

Equação 1 - Índice de cristalinidade.....	39
Equação 2 - Cálculo de gramatura.....	40
Equação 3 - Variação de massa.....	41
Equação 4 - Taxa de permeabilidade ao vapor de água.....	41
Equação 5 - Perda de massa.....	44

## Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CH <sub>4</sub>	Metano
CNC	Celulose Nanocristalina
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DRX	Difração de Raios-x
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
DTG	Termogravimetria Derivada
EN	European norm
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier
H <sub>2</sub> O	Água
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MO	Microscopia Óptica
MPa	Megapascal
NaClO	Hipoclorito de Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
PBAT	Poli(butileno adipato-co-tereftalato)
PHBV	Poli(3-hidroxi-butilirato-co-hidroxi-valerato)
PLA	Poliácido láctico

PVC	Policloreto de vinila
TGA	Termogravimetria
T <sub>m</sub>	Temperatura de fusão
TPVA	Taxa de permeabilidade ao vapor de água
WWF	World Wide Fund for Nature
ΔH	Variação de entalpia

## Sumário

1	Introdução.....	15
2	Objetivos.....	18
2.1	Objetivo Geral .....	18
2.1	Objetivos Específicos .....	18
3	Referencial Teórico.....	19
3.1	Indústria de Embalagens.....	19
3.1.1	Embalagens Biodegradáveis .....	21
3.1.2	Biodegradação.....	22
3.2	Materiais Compósitos.....	24
3.2.1	Matriz Polimérica de Amido .....	25
3.2.2	Materiais Lignocelulósicos .....	28
4	Revisão da literatura .....	32
5	Materiais e métodos.....	37
5.1	Materiais.....	37
5.2	Métodos .....	37
5.2.1	Obtenção de celulose a partir de coroa do abacaxi.....	37
5.2.2	Preparo dos compósitos .....	38
5.2.3	Caracterizações.....	39
6	Resultados e Discussão .....	47
6.1	Caracterização da celulose .....	47
6.1.1	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) 47	
6.1.2	Difração de Raios-X (DRX).....	48
6.1.3	Termogravimetria (TGA).....	49
6.2	Caracterização dos filmes .....	51

6.2.1	Espessura e gramatura .....	51
6.2.2	Solubilidade .....	53
6.2.3	Taxa de permeabilidade ao vapor d' água (TPVA).....	54
6.2.4	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) .....	57
6.2.5	Ensaio de tração.....	59
6.2.6	Microscopia Óptica (MO) .....	61
6.2.7	Fitotoxicidade.....	62
6.2.8	Ensaio de biodegradabilidade - Perda de massa .....	63
6.2.9	Ensaio de biodegradabilidade - Aspecto visual .....	65
6.2.10	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) ..	67
7	Considerações finais.....	70
8.	Sugestões para trabalhos futuros .....	72
	Referências Bibliográficas .....	73

## 1 Introdução

Vivemos uma era crítica quando se fala sobre acúmulo de resíduos e uso indevido de materiais, o que acaba esgotando os recursos disponíveis e afetando diretamente o meio ambiente. Isso ocorre pelo fato da produção de artefatos estar totalmente voltada para o uso de matérias-primas não renováveis e ao descarte indevido destes produtos ao fim de seu uso. Já é possível visualizar as consequências advindas destes atos inconsequentes, trazendo consigo problemas sérios e muitas vezes irreversíveis. É preciso então que haja uma conscientização em relação ao uso e consumo consciente de materiais e que seja priorizada a busca por soluções sustentáveis (WRÓBLEWSKA-KREPSZTUL *et al.*, 2018).

Dentre os principais destaques da degradação do meio ambiente estão os polímeros sintéticos, que quando descartados indevidamente vem degradando significativamente o meio ambiente, uma vez que alguns deles demoram séculos para se decompor. Um dos setores que se destaca pela geração de um grande volume desses resíduos sólidos é o setor de embalagens, isso ocorre devido as quantidades exorbitantes de material que envolvem os produtos e que na maioria das vezes ao fim do seu uso não passam pelo processo de reciclagem, indo diretamente para a natureza (MONTERO *et al.*, 2017).

No cenário em que estamos inseridos, não é mais suficiente trabalhar apenas com a remediação dos problemas ambientais, mas sim é necessária a prevenção deste tipo de adversidade. Algumas dessas alternativas vêm sendo diminuir o consumo de energia e a geração de novos resíduos, otimização de processos, uso de matérias primas renováveis e principalmente o desenvolvimento de produtos sustentáveis e biodegradáveis (FARUK *et al.*, 2014).

Uma alternativa é a produção de embalagens biodegradáveis que vem despertando um grande interesse devido à grande procura por alimentos de qualidade, às preocupações ambientais relacionadas ao descarte indevido de polímeros sintéticos e também às oportunidades de criação de novos mercados e tecnologias de filmes a partir de produtos agrícolas. Estes materiais biodegradáveis vêm sendo visados devido ao fato de ao final de sua vida útil são degradados pela ação de bactérias ou fungos, sem deixar nenhum tipo de resíduo nocivo ao ambiente, fechando totalmente seu ciclo biológico (LANDIM *et al.*, 2016).

Um material muito utilizado em embalagens biodegradáveis é o amido, por ser o segundo polissacarídeo mais abundante da natureza e podendo ser extraído de diversas fontes como, mandioca, milho, batata, entre outros. Ainda apresenta múltiplas vantagens, dentre elas destacam-se o baixo custo, biodegradabilidade, versatilidade e por ser uma matéria prima renovável. Por conta de seu potencial vem sendo muito utilizado para aplicação em produtos, principalmente em biofilmes (MENCHACA-RIVERA *et al.*, 2019).

Além disso, o Brasil conta com uma grande quantidade de resíduos agroindustriais, sendo necessária a utilização destes resíduos em aplicações tecnológicas, exaltando seu potencial econômico. De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2017), o Brasil ocupa o segundo lugar em cultivo de abacaxi no mundo, correspondente a 1,62 milhão de tonelada desta fruta. Sabe-se que diversas partes do abacaxi acabam não sendo utilizadas, como a sua coroa, e se tornam um resíduo. A coroa do abacaxi apresenta altos teores de celulose, além de ser pouco explorada, sendo interessante a exploração deste tipo de subproduto para o desenvolvimento de materiais dinâmicos e tecnológicos (PRADO; SPINACÉ, 2019).

Assim, é de extrema importância versatilizar o aproveitamento destes resíduos, logo a obtenção de celulose a partir dos mesmos acaba sendo uma alternativa vantajosa. Segundo Oun; Rhim (2016), a celulose tem sido muito empregada como reforço em matrizes poliméricas biodegradáveis, pois apresenta características que possibilitam melhorar propriedades mecânicas, são de baixo custo, flexíveis, pela sua atoxicidade, abundância na natureza, além de também ser biodegradável.

Com o propósito de unificar o uso destes dois tipos de materiais alternativos em aplicações sustentáveis, inserem-se neste contexto os compósitos. Estes materiais são constituídos de pelo menos duas fases distintas, interagindo de forma sinérgica, apresentando propriedades diferenciadas em relação aos materiais tradicionais quando atuam isoladamente. Como alguns tipos de matrizes biodegradáveis apresentam algumas limitações, como por exemplo, baixas propriedades mecânicas e alta permeabilidade, se faz o uso de reforços para aumentar o potencial do produto final (FERREIRA *et al.*, 2018).

Portanto, a partir deste contexto, este trabalho tem o intuito de obter celulose a partir da coroa do abacaxi através do tratamento alcalino e branqueamento. O

propósito é desenvolver filmes compósitos biodegradáveis com matriz de amido reforçados com a celulose obtida através da coroa do abacaxi, em que os filmes foram elaborados por *casting*. Por fim, é de interesse que os filmes sejam aplicados em embalagens sustentáveis biodegradáveis que possam ser uma alternativa preventiva e que reduza os impactos causados pelo descarte impróprio de embalagens tradicionais no meio ambiente.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis à base de amido de milho, incorporados com celulose extraída do resíduo de coroa de abacaxi para aplicação em embalagens flexíveis.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Comparar as propriedades da fibra de abacaxi e da celulose obtida;
- Estimar o efeito da concentração de carga nos materiais compósitos;
- Analisar as propriedades finais dos biocompósitos através de caracterizações mecânicas, térmicas, morfológicas, de barreira e avaliação de biodegradabilidade;
- Comparar as características dos filmes obtidos com outros materiais semelhantes encontrados na literatura;
- Demonstrar o potencial de matérias-primas com baixo custo e advindas de resíduos;
- Avaliar a possibilidade de aplicação dos filmes biodegradáveis na indústria de embalagens.

### **3 Referencial Teórico**

#### **3.1 Indústria de Embalagens**

A conservação do nosso planeta depende de inúmeros fatores, sendo necessária a manutenção da sociedade, da natureza e do meio ambiente. No momento presente, fazemos parte de uma população que cresce rapidamente, consome exageradamente e que degrada a natureza e os recursos disponíveis, em que não há um equilíbrio entre o progresso acelerado e a preservação dos recursos necessários para viver.

Atualmente a poluição da natureza é um dos principais aspectos com que a sociedade precisa se preocupar. Dentre os fatores que incentivam a degradação, pode-se destacar a rápida transformação das tecnologias, o crescimento da população, em que a mesma vive uma vida corrida e opta por produtos descartáveis e práticos, muitas vezes não os descartando corretamente. Neste contexto, os plásticos acabaram destacando-se negativamente como degradador do ecossistema, isto ocorre, pois sua produção vem criando números exorbitantes, por serem materiais versáteis e de baixo custo. No entanto, estes materiais acabam levando séculos para se decompor e na maioria das vezes seu resíduo não é reaproveitado da maneira que poderia ser, implicando em diversos impactos no ambiente (DA SILVA RODRIGUES *et al.*, 2017).

Além do lixo que é descartado incorretamente no meio ambiente, tem-se também o não aproveitamento dos materiais que ainda tem potencial para diversas aplicações. De acordo com a Figura 1, a grande maioria dos resíduos sólidos tem sua destinação em aterros ou lixões, apesar de os aterros serem considerados destinos corretos, acabam não incentivando a reciclagem dos mesmos, tornando este procedimento não sustentável e economicamente, não aproveitando o potencial do resíduo (GRISA; CAPANEMA, 2018).

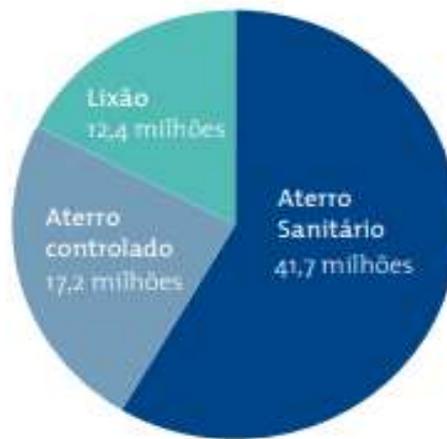


Figura 1 - Destinação dos resíduos sólidos.  
Fonte: GRISA; CAPANEMA, 2018.

Dentre todos os resíduos sólidos, destacam-se as embalagens plásticas, pois as mesmas são empregadas em inúmeros setores desde alimentício ao farmacêutico. As embalagens poliméricas apresentam diversas vantagens, principalmente para a indústria alimentícia, pelas propriedades de durabilidade, transparência e as características de barreira destes materiais. Sendo assim, os polímeros sintéticos são a principal fonte para produção destas embalagens, embora possuam inúmeras características atraentes, estes materiais não são biodegradáveis e na maioria das vezes não são descartados corretamente e reciclados, por este motivo faz-se necessário o uso de materiais mais sustentáveis, advindos de fontes renováveis (WALLIS; WEIL; MADI, 2012).

Em um estudo feito pela World Wide Fund for Nature (WWF) em 2019, são apontados números preocupantes a respeito do crescimento de resíduos plásticos. Em suma, no oceano são encontrados 300 milhões de toneladas de resíduos poliméricos e dentre os países mais poluentes encontra-se o Brasil, juntamente com Estados Unidos, China e Índia. No ano de 2016 quase 400 milhões de toneladas de plástico virgem foram produzidos, e em parte tornaram-se resíduos, no Brasil apenas 2% deste resíduo é devidamente reciclado.

Portanto, pode-se notar que vivemos uma realidade extremamente preocupante, em que ainda há pouca preocupação com a destinação dos resíduos sólidos poliméricos, sendo assim é urgente que mudanças sejam feitas, em que será necessária conscientização, melhor gestão de resíduos e buscas por soluções biodegradáveis, para a recuperação do meio ambiente.

### 3.1.1 Embalagens Biodegradáveis

Tem-se a reciclagem como um dos métodos mais efetivos para diminuir impactos ambientais relacionados com os resíduos plásticos, em contrapartida sabe-se que a maioria dos materiais potenciais não são reciclados e não recebem incentivo governamental para isso. Também há barreiras técnicas deste problema, em que alguns materiais acabam sendo muito pequenos para a triagem, outros são facilmente contaminados e ainda têm-se as embalagens multicamadas, que são extremamente complicadas de separar e reciclar e por fim acabam indo para o aterro sanitário como já mencionado anteriormente (DILKES-HOFFMAN *et al.*, 2018).

Ainda segundo Dilkes- Hoffman *et al.* (2018) vê-se a necessidade de diminuir a dependência criada pelo aterro para a gestão de resíduos e também diminuir a quantidade de plásticos em geral descartados em lixões e nas ruas. Assim reduzindo a possibilidade de que a embalagem descartada se acumule nos oceanos. O apelo ao uso de embalagens biodegradáveis advindas de fontes renováveis poderá diminuir alguns problemas de degradação do meio ambiente, pois as mesmas voltarão para o ciclo biológico rapidamente.

Os materiais biodegradáveis são materiais que ao fim de sua vida útil podem ser degradados pela ação de bactérias e fungos sob condições adequadas e que não deixem nenhum tipo de resíduo nocivo ao ambiente, também podem ser utilizados como fertilizante quando feita compostagem. Os polímeros biodegradáveis são classificados de acordo com a sua fonte, dentre eles pode-se citar: polímeros oriundos de fontes agrícolas, de microorganismos, obtidos por síntese e ainda aqueles provenientes de métodos biotecnológicos (TRINETTA *et al.*, 2016).

Para um polímero ser considerado biodegradável é imprescindível que atenda critérios básicos. Primeiramente é preciso que o material se desintegre e seja metabolizado por microrganismos em ambiente natural em um determinado período. E em segundo plano é necessário que o material não libere componentes tóxicos ao ambiente no final de sua decomposição. Materiais biodegradáveis são regulados por normas internacionais como: EN 13432, EN 14995, ASTM D6400, ABNT 15.448 (HORVAT; KRZAN, 2012).

Portanto, estes materiais são uma interessante alternativa ao uso de materiais oriundos de fontes não renováveis, os mesmos cumprem a função de proteger o

produto de maneira eficiente e se degradam facilmente após seu uso que oferecem excelente proteção ao produto e são mais fáceis de degradar após o uso. É notável a aplicação destes materiais em embalagens de única utilização, como copos descartáveis, embalagens de comida, sacos de lixo, entre outros. Dentre os biopolímeros mais utilizados para obtenção de embalagens biodegradáveis destacam-se o amido e a celulose, que possuem propriedades interessantes para este tipo de aplicação e se necessário podem ser combinados com outros materiais para alcançar características necessárias para determinada aplicação (MAJID; THAKUR; NANDA, 2018).

Ainda de acordo com Majid; Thakur; Nanda (2018) é importante conhecer as propriedades necessárias dos materiais utilizados em embalagens, pois as mesmas garantem a validade do produto. Dessa forma, é relevante que estes materiais tenham boas propriedades de barreira ao oxigênio e gases e também ao vapor d'água, variáveis que possam degradar o produto. Também é necessário prever propriedades de barreira à luz, pois pode ocorrer a degradação do produto e degradação oxidativa do polímero. Certamente as propriedades térmicas também são importantes para o processamento e para moldagem destes materiais, e as propriedades mecânicas para estabelecer a resistência necessária para a solicitação ao qual está sendo aplicada.

### **3.1.2 Biodegradação**

O processo de biodegradação do material é conhecido por alguma modificação nas características do polímero, como diminuição do peso molecular, das propriedades mecânicas e mudanças no aspecto visual da superfície. Pode se dar a fragmentação do material que acontece devido a digestão de organismos microbianos e as porções degradadas se disseminam no ambiente e até onde se sabe são atóxicas ao ecossistema.

De acordo com Pathak (2017), a degradação é feita por microrganismos através de distintas ações enzimáticas e por quebra de ligação. Este processo acontece continuamente em diferentes estágios, sendo eles a biodeterioração, biofragmentação, assimilação e mineralização, ilustrados na Figura 2. A biodeterioração ocorre na superfície do material e modifica suas propriedades

químicas e físicas. Esta etapa se dá pela formação de um biofilme, que é a formação de um conjunto de microrganismos produzindo substâncias extracelulares que auxiliam na quebra do polímero. A segunda etapa é a biofragmentação ou despolimerização, que se trata da quebra da macromolécula em menores porções através da clivagem enzimática. As enzimas quebram o polímero em uma forma mais simples e o resultado são oligômeros e monômeros, que serão transformados de acordo com a existência de oxigênio no meio.

A assimilação se trata do consumo das moléculas feito nos citoplasmas microbianos, onde os monômeros irão entrar no metabolismo, sofrer um processo de degradação e formar a biomassa, energia e alimento para crescimento próprio. Muitos não são assimilados por inteiro, então são liberados para outros organismos poderem continuar o ciclo. Na última fase tem-se a mineralização, em que são transformados os materiais biodegradáveis em gases, água e minerais. São gerados compostos como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dependendo da condição de degradação, em circunstâncias aeróbicas são formados  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , enquanto que em anaeróbicas o  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  são gerados. A mineralização só será completa quando todos os componentes do filme forem consumidos ou convertidos (PATHAK, 2017).

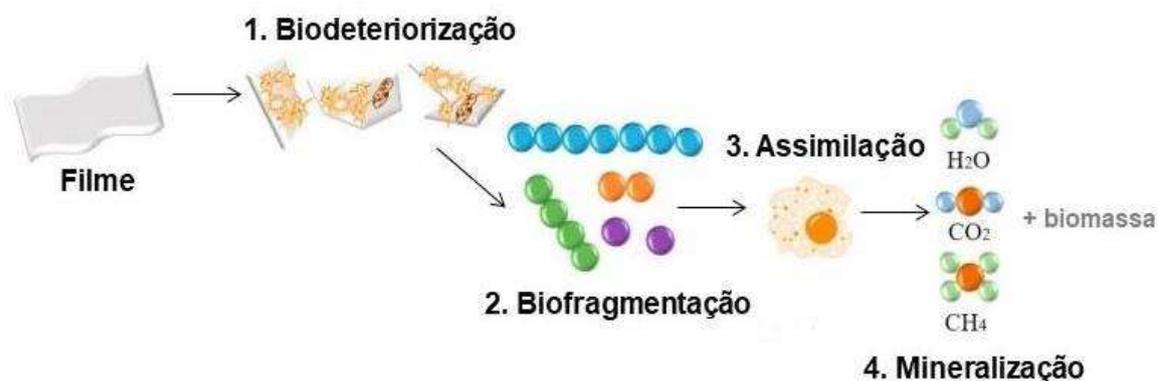


Figura 2 - Esquema da biodegradação de polímero.  
Fonte: Adaptado de ZHANG *et al.*, 2020.

O teste em solo simulado é um dos mecanismos para apreciação da biodegradabilidade de determinado polímero. Neste processo o material é exposto em amostras em um composto orgânico que contem naturalmente organismos microbianos responsáveis pela decomposição dos polímeros biodegradáveis. Este

processo é influenciado por condições de temperatura e umidade que favorecem o crescimento dos microrganismos (PISCHEDDA; TOSIN; DEGLI-INNOCENTI, 2019).

Os polímeros formados por amido ou celulose são facilmente biodegradados em solo. Estes materiais de origem vegetal são decompostos principalmente pela ação de fungos, no entanto sabe-se que diversas bactérias também são capazes de decompô-los. Portanto, a união destes elementos tão abundantes é rentável para aplicações de produtos que facilmente serão consumidos ao fim de sua utilização (PISCHEDDA; TOSIN; DEGLI-INNOCENTI, 2019).

### **3.2 Materiais Compósitos**

Os materiais compósitos são materiais que combinam pelo menos duas fases diferentes em que haja uma comunicação e interação entre estas fases através de uma interface. Estes materiais tem o intuito principal de promover propriedades diferenciadas em relação às características dos materiais constituintes quando os mesmos atuam separadamente. Estes materiais vêm ganhando destaque em diversas aplicações, pois promovem características que materiais convencionais não possuem. São muito aplicados na aeronáutica, automobilística, embalagens, quando for necessário combinar propriedades como leveza, resistência, custo, versatilidade, entre outras (NETO; PARDINI, 2016).

Compósitos são formados pela fase matriz, também chamada de fase contínua e da fase reforço, conhecido como fase dispersa. A matriz representa a função de envolver o reforço e transmitir as tensões, enquanto que o reforço é responsável por fornecer resistência ao material final. As características resultantes destes materiais vão depender das propriedades isoladas das partes constituintes, como também da interação entre a fase contínua e o reforço, da concentração dos elementos integrantes e certamente do tipo de reforço empregado (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

Segundo Callister; Rethwisch (2012), os compósitos podem ser classificados de acordo com sua matriz ou com o tipo de reforço empregado. Em relação à matriz, são julgados como compósitos poliméricos, metálicos ou cerâmicos. Quando se fala na classificação do reforço é possível dividi-los em compósitos reforçados com partículas, fibras ou compósitos estruturais. Dentre os três tipos de componentes de

reforço será dado o enfoque neste trabalho aos compósitos reforçados com fibras. É importante então que os constituintes, matriz e reforço, sejam compatíveis para promover bons resultados na aplicação final.

Materiais compósitos são aplicados em áreas como aeronáutica, engenharia de tecidos, embalagens, artigos esportivos, automobilística, entre outras, em que seja essencial alcançar propriedades diferenciadas como resistência, leveza, facilidade de processamento, boa relação custo-benefício. Estes materiais estão em crescente desenvolvimento e inseridos em pesquisas de novos materiais acompanhando a progressiva evolução de novas aplicações (CALLISTER; RETHWISCH, 2012).

A grande produção de resíduos poliméricos tem estimulado a demanda de materiais ambientalmente amigáveis, podendo-se citar os biocompósitos. Estes compósitos são determinados pela característica principal de que pelo menos um dos seus componentes seja proveniente de recursos naturais. No entanto, este vocábulo abrange uma abundância de componentes como fibras naturais, óxidos, polissacarídeos, entre outros. A produção destes materiais diminui o volume de resíduos sintéticos e incentiva principalmente a reutilização de resíduos principalmente agrícolas (CAMPILHO, 2016).

Dentre as cargas utilizadas como fase dispersa em compósitos poliméricos pode-se dar enfoque à celulose, a qual será utilizada neste trabalho. A celulose é extremamente abundante e pode ser extraída de inúmeras fontes. A adição de celulose em matrizes poliméricas, na grande maioria dos casos, leva a alterações nas suas propriedades mecânicas, tem baixa densidade e possibilita baixar o custo do produto final (FERRER; PAL; HUBBE, 2017).

Sendo assim, muitos estudos vêm sendo realizados com cargas de fonte natural e com matrizes biodegradáveis devido ao aumento das preocupações ambientais que levaram à investigação dos usos potenciais de recursos renováveis para diversas aplicações. Neste sentido, estes materiais apresentam uma potencialidade para substituição de materiais tradicionais no uso de embalagens poliméricas.

### **3.2.1 Matriz Polimérica de Amido**

Depois da celulose, o amido é o segundo polímero natural mais numeroso na natureza. O amido é um polissacarídeo composto de  $\alpha$ -glicose e formado por dois constituintes principais que são a amilose e amilopectina, suas estruturas químicas estão representadas na Figura 3. A amilose apresenta maior desorganização em sua estrutura e, portanto, é mais suscetível à água e a amilopectina é mais organizada e, portanto, mais cristalina. O amido apresenta certa organização que lhe garante propriedades de um semicristalino, podendo variar o grau dependendo do amido (KIM *et al.*, 2015).

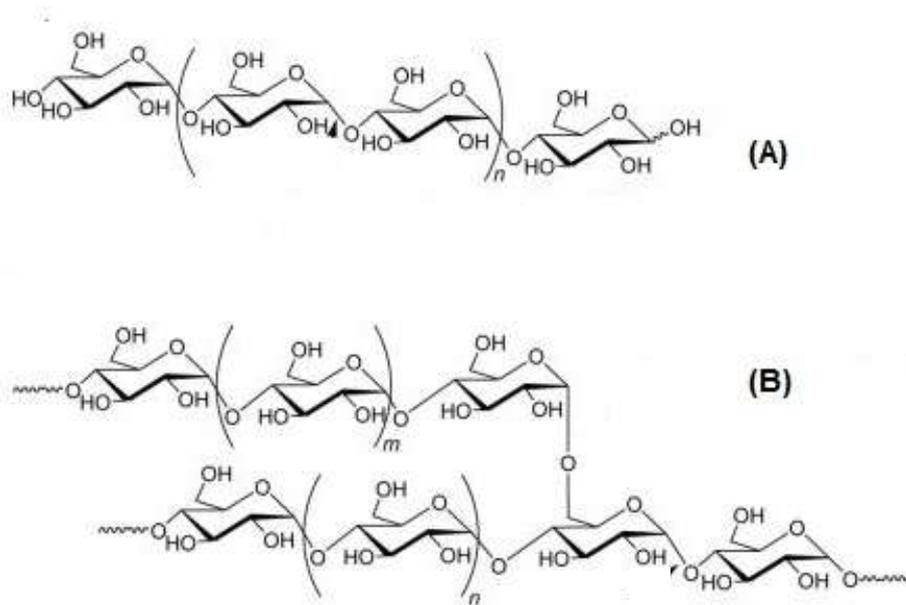


Figura 3 - Estrutura química da (A) amilose e (B) amilopectina.  
Fonte: adaptado de NELSON; COX, 2005.

O amido pode ser extraído de vegetais, plantas, frutas, mas em sua maioria em tubérculos e cereais e tem o intuito de ser utilizado como reserva de energia para as plantas, podendo ser encontrado em diversas plantas e alimentos. Por este motivo é um polissacarídeo versátil, biodegradável, obtido a partir de fonte renovável, diversificada, baixo custo e abundante. Por conta dessas inúmeras vantagens e de suas propriedades apresenta grande potencial para inúmeras aplicações tecnológicas, já sendo muito empregado na indústria. Dentre as principais origens comerciais deste composto estão à mandioca, milho, trigo, batata, como também a aveia e o inhame (SCHMIDT *et al.*, 2012).

De acordo com Kim *et al.* (2015), dependendo do tipo de amido poderá variar totalmente suas propriedades de cristalinidade, teores de amilose e amilopectina, temperatura de processamento, entre outras. Alguns aspectos deste biopolímero podem dificultar o processamento e aplicações deste material, uma variável é a baixa fluidez do mesmo devido a sua alta massa molar. O processamento do amido poderá ser facilitado através da plastificação, utilizando, por exemplo, glicerol ou líquidos iônicos, ou também realizando modificações químicas. Ainda assim, a plastificação representa o melhor método para a processabilidade deste biopolímero.

De acordo com Menchaca-Rivera *et al.* (2019), o amido vem sendo muito utilizado para a produção de biofilmes, pelo seu baixo custo e abundância na natureza. Os biofilmes são na maioria das vezes produzidos com materiais de origem natural, como polissacarídeos e proteínas. A preparação destes filmes se dará pela solubilização do biopolímero em solvente e posterior adição de aditivos e reforços. O amido pode ser processado de diversas formas como as técnicas tradicionais moldagem por injeção e extrusão, mas também pode ser processado por *casting*. No método *casting*, que foi utilizado neste trabalho, a obtenção de filmes é feita através da solubilização com solvente do amido determinado, após esta fase em que é necessária uma boa dissolução, o líquido é depositado em placas e seco até o solvente evaporar por completo.

A formação do filme se dá através da gelatinização do amido, em que os seus dois componentes principais se disseminam pela solução e no momento da evaporação do solvente voltam a se reorganizar, estabelecendo uma fase contínua. A orientação das cadeias paralelas ocorre devido à linearidade e possibilita a formações de ligações secundárias, o que traz a característica apresentada pelos filmes, de estabilidade e flexibilidade (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Em meio aos diferentes tipos de amido pode-se destacar o milho como uma das principais fontes, cerca de 73% da produção mundial, seguida da mandioca com 14%. As aplicações do amido de milho são inúmeras, desde produtos alimentícios como também embalagens e curativos. Sua estrutura é conhecida por apresentar 72% de amilopectina e 28% de amilose, sendo esta última uma das maiores porcentagens entres os amidos, está característica é geralmente associada a formação de filmes (NORDIN *et al.*, 2020).

### 3.2.2 Materiais Lignocelulósicos

Materiais lignocelulósicos vêm sendo muito utilizadas em compósitos com o intuito de melhorar suas propriedades mecânicas, baratear sua produção, substituir fibras de fonte não renovável, sua atoxicidade, maciez e abrasividade reduzida, baixa massa específica e biodegradabilidade e principalmente em sua capacidade de se tornar um material de grande desempenho. Diversas são as suas fontes como os resíduos agrícolas (bagaço de cana de açúcar, coroa de abacaxi, fibra de coco, juta), resíduos de indústria alimentícia como a casca de noz, e também resíduos florestais (restos de madeira e serragem) (CARVALHO *et al.*, 2017).

De acordo com Vinayaka *et al.* (2017), estes materiais possuem diversos componentes em sua estrutura, como ácidos graxos e resinas, mas são formados predominantemente por celulose, hemicelulose e a lignina, e por este motivo levam o nome de lignocelulósicos (Figura 4). Em suma, a hemicelulose é considerada responsável pela alta absorção de água e por ser amorfa. E a lignina, que também apresenta caráter amorfo, é responsável por atribuir resistência à planta. Já a celulose merece maior atenção por ser o material de maior interesse na estrutura de materiais lignocelulósicos. É considerado o biopolímero renovável mais abundante disponível na natureza, podendo variar de 40 a 90% em massa da fibra, dependendo muito da sua fonte (CORREIA *et al.*, 2011).

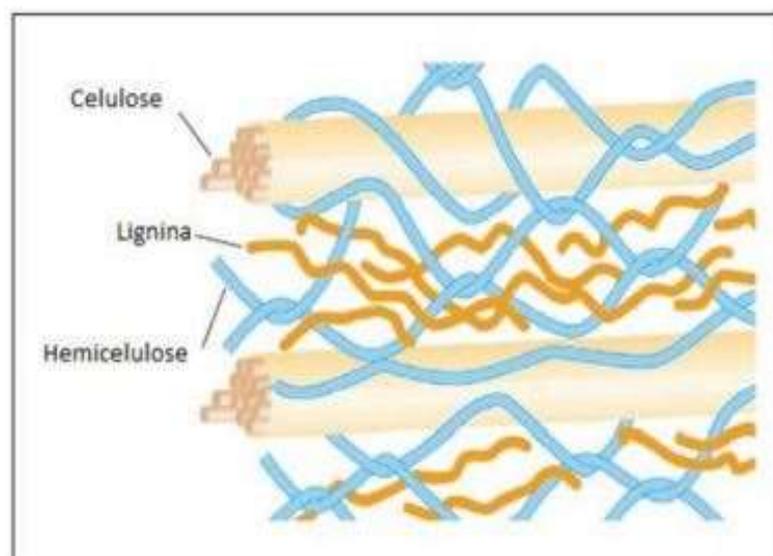


Figura 4 - Ilustração de fibra lignocelulósica.  
Fonte: CORREIA *et al.*, 2011.

### 3.2.2.1 Coroa do abacaxi

De acordo com Instituto Agronômico de Campinas (IAC) (2019), a produção de frutas é uma das práticas econômicas mais importantes do Brasil. O abacaxi é uma das frutas mais produzidas do país, perdendo apenas para as frutas cítricas. Esta fruta dispõe de produção em todas as regiões brasileiras com grande destaque para o Nordeste, Norte e Sudeste, liderando os números. Assim sendo, o Brasil ocupa a 2ª posição de produção mundial desta fruta, equivalente a 1,62 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da Tailândia.

Na comercialização do abacaxi, a fruta pode ser vendida em sua forma natural, como também de maneira processada, como sucos e geleias. Desta forma, alguns de seus componentes não são utilizados como as folhas e sua coroa, sendo então julgados como restos agroindustriais. Entre 10% e 25% do peso total do abacaxi corresponde a sua coroa o que acaba gerando toneladas deste subproduto (PRADO; SPINACÉ, 2019). Estas partes ainda possuem destinações extremamente limitadas devido ao desconhecimento do seu potencial, portanto, em razão do aumento crescente da produção desta fruta e demanda de aplicações tecnológicas aproveitando resíduos agroindustriais, que a coroa do abacaxi se torna atraente para a obtenção de celulose (OLIVEIRA; MATOS, 2018).

A coroa do abacaxi é composta de maneira geral por celulose, hemicelulose, lignina, pectinas, entre outros. Pelo fato deste resíduo apresentar altos teores de celulose, representado na Tabela 1, é que o torna tão atraente para a extração da mesma para aplicação em diversas áreas (PRADO; SPINACÉ, 2019).

Tabela 1 - Porcentagem de constituintes da coroa do abacaxi.

<b>Celulose</b>	<b>Hemicelulose</b>	<b>Lignina</b>	<b>Pectina</b>
~80%	~20%	~5%	~1%

Fonte: Adaptado de PRADO; SPINACÉ, 2019.

Portanto, a extração de celulose do resíduo de coroa de abacaxi é uma alternativa viável devido as grandes produções da fruta no país, ao alto teor de celulose disponível nesta fibra e para a agregação de valor e tecnologia à um resíduo que seria descartado.

### 3.2.2.2 Celulose

A celulose é um tipo de polissacarídeo composta de unidades de  $\beta$ -D-glicopiranosose unidas por ligações glicosídicas entre os carbonos 1 e 4, onde suas moléculas apresentam alta massa molecular. A celulose, representada na Figura 5, apresenta estrutura linear que possui como unidade de repetição a celobiose. Este biopolímero é extremamente versátil, podendo ser quimicamente modificado de acordo com a necessidade de aplicação (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

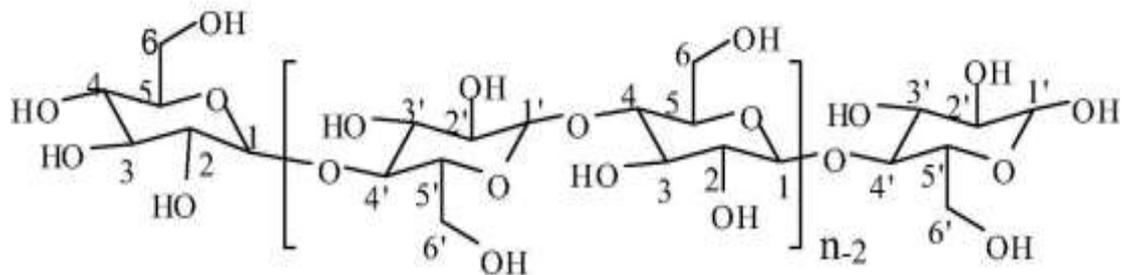


Figura 5 - Molécula de celulose.  
Fonte: Adaptado de GUPTA *et al.*, 2016.

Geralmente, a celulose apresenta quatro principais polimorfos, temos então a celulose I, II, III e IV. A partir dos quatro tipos, sabe-se que a celulose I é o tipo mais cristalino existente, podendo ser em duas formas:  $\alpha$  e  $\beta$ , o que muda entre elas é o padrão de empacotamento. A celulose II é obtida através da recristalização de celulose na forma nativa, podendo ser obtida através da mercerização com tratamento alcalino ou da regeneração com solubilização e posterior recristalização. Celulose III pode ser preparada através de tratamento com amoníaco líquido das celulosas I e II. E por fim, a celulose IV são obtidas através de tratamento da celulose II por aquecimento em glicerol (GUPTA *et al.*, 2016).

Ainda de acordo com Gupta *et al.*, (2016), a celulose é um polímero biodegradável de baixo custo que pode ser extraída de diversas fontes, dentre as comerciais pode-se citar o papel e o algodão, mas também pode ser extraída de resíduos agroindustriais. Portanto, a quantidade de celulose presente na fibra irá depender muito de sua fonte, como por exemplo, o algodão pode conter aproximadamente 98% de celulose, já alguns tipos de madeira até 90%.

A celulose apresenta grande importância econômica, pois a mesma é processada para produzir diversos produtos como é o caso do papel, fibras, filmes, vernizes, entre outros, por apresentar propriedades interessantes para aplicações tecnológicas. Destaca-se por possuir características como atoxicidade, é insolúvel na maioria dos solventes, apresenta boas propriedades mecânicas, hidrofiliçidade, fácil modificação química e é biodegradável, retornando ao ciclo natural de decomposição sem agredir o ambiente (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A combinação de celulose com outros polímeros pode ser uma maneira promissora para modificar e melhorar propriedades dos materiais envolvidos, resultando em produtos alternativos e diferenciados. Portanto, é interessante a produção de biocompósitos unindo a celulose e a matriz de amido.

#### 4 Revisão da literatura

Nesta seção será dada ênfase aos últimos trabalhos encontrados na literatura, no período de 2008 a 2020, que envolvam o desenvolvimento de compósitos biodegradáveis à base de amido, principalmente, com a utilização de celulose de diversas fontes como agente de reforço.

Em um estudo de Kumar; Singh (2008) foram preparados filmes baseados em materiais compósitos a partir de amido de milho e celulose em diferentes quantidades, 5%, 10% e 15% de reforço. Além disso, foi utilizado o glicerol como plastificante e benzoato de sódio como fotossensibilizador. Os resultados obtidos foram satisfatórios, indicando que com a adição da celulose e do benzoato de sódio reduziu a absorção de água dos filmes. Por fim, quanto maior a quantidade de celulose empregada, melhores foram os resultados de resistência à tração e módulo de elasticidade.

Wittaya (2009) obteve filmes de amido de arroz reforçados com a celulose extraída da fibra de palma. A extração se deu através de tratamento alcalino, branqueamento e hidrólise ácida, resultando em uma celulose microcristalina. Os filmes foram preparados por *casting*, em que a solução de amido 3% foi aquecida até sua gelatinização e posteriormente adicionada a celulose em quantidades de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40% e em seguida secos em dessecadores. Nos resultados de resistência à tração, verificou-se que os biocompósitos aumentaram estes números de 5,16 MPa para filme de amido de arroz puro para 44,23 MPa nos filmes com 40% de reforço, devido a uma boa interação do reforço com a matriz. Além disso, a incorporação da celulose nos filmes acabou diminuindo a permeabilidade de vapor de água em relação aos filmes de amido de arroz puro.

Dias *et al.* (2011), estudaram a incorporação de fibras de celulose à filmes de farinha de arroz, devido a seu baixo custo e ser uma alternativa ambiental sustentável. Os compósitos foram preparados por *casting*, utilizando 5g de farinha de arroz e 1,5g de fibras para cada solução de 100 ml em água, além de utilizar dois plastificantes diferentes, sorbitol e glicerol. Através da análise de MEV, pode-se ver que as fibras de celulose estão bem aderidas na matriz, indicando boa adesão. Os filmes compósitos apresentaram menor permeabilidade ao vapor de água em relação aos filmes controle, e ainda, o uso do sorbitol mostrou melhores resultados para esta caracterização. Em relação às propriedades mecânicas, a adição de

celulose resultou em maior resistência à tração, no entanto não interferiu em seu resultado de deformação.

De Moraes; Müller; Laurindo (2012) desenvolveram um estudo para avaliar a influência da inclusão de nanoargila e celulose comercial nas propriedades mecânicas e de barreira de filmes de amido de mandioca. Os filmes foram produzidos por *casting* com 3 g de amido de mandioca, 0,9 g de fibras e 0,15 e 0,3 g de nanoargila bentonita. A incorporação de celulose e nanoargila aumentou a resistência à tração dos filmes em oito vezes e o módulo de Young em vinte e quatro vezes. Em relação às propriedades de barreira à água, os filmes contendo 0,3g de nanoargila e a celulose obtiveram resultados com redução de 60% na difusão em comparação com os filmes controle. Esses resultados apontam que a incorporação conjunta da celulose e da bentonita são alternativas viáveis para aprimorar as propriedades de filmes de amido de mandioca.

Bodirlau; Teaca; Spiridon (2013) realizaram um estudo em que o amido de milho foi modificado quimicamente com ácido málico a fim de obter micropartículas. Os compósitos foram preparados e reforçados com celulose de abeto (espécie de conífera), lignina e queratina. Com a incorporação das cargas naturais foram observadas melhoras nas propriedades mecânicas como aumento da resistência à tração e maior rigidez. Também obteve-se redução de absorção de água, no entanto as cargas influenciaram a transparência dos filmes. Concluiu-se que os filmes apresentam potencial e baixo custo para serem aplicados em embalagens e alguns aparatos da agricultura.

El Halal *et al.* (2015), fizeram o isolamento do amido e da celulose a partir da cevada através de diversos métodos químicos. Filmes biodegradáveis foram desenvolvidos com o amido e utilizou-se duas concentrações de celulose de 10 e 20%, além dos filmes com amido puro. A incorporação da celulose aumentou a resistência à tração e reduziu o alongamento, dando maior destaque para a concentração de 20% do reforço, ainda houve um ligeiro aumento na estabilidade térmica dos filmes. E assim inferiu-se que foi eficaz a extração dos elementos da cevada e que a união do uso de amido e fibras resulta em filmes resistentes e podem ser aplicados em invólucros alimentícios.

Guimarães *et al.* (2016), conseguiram isolar celulose microfibrilada da cenoura e aplicaram a mesma em filmes comestíveis de amido de milho. Os filmes foram preparados por *casting* utilizando 3% de amido e glicerol como plastificantes,

as suspensões de celulose de cenoura foram adicionadas em 20% e 40% na solução de amido. A presença do reforço resultou em um material com menor permeabilidade ao vapor de água e ambas as concentrações apresentaram maior resistência à tração, devido a uma boa interação do reforço com o amido, cujos resultados foram confirmados através do MEV. No entanto, a presença do reforço afetou a transparência dos filmes, resultando em filmes mais alaranjados, o que pode não ser um problema dependendo da necessidade do produto final.

Montero *et al.* (2017), estudou amidos de diferentes fontes vegetais (batata, milho e ervilha) que foram plastificados com glicerol e reforçados com nanocristais de celulose. No geral, a incorporação de cristais de nanocelulose acaba retardando o início da degradação térmica do material, indicando maior estabilidade térmica em relação aos filmes modelo. Após a investigação de todos os nanocompósitos, o filme de batata reforçado com 5% de nanocristais de celulose apresentou características atrativas, como maiores resultados de rigidez e estabilidade térmica em relação às demais amostras e por isso, mostrou ser uma boa alternativa para aplicações de embalagens que possuem curto tempo de vida útil.

Hafizulhaq *et al.* (2018), extraiu a fibra de celulose de um tubérculo chamado *bengkoang*, também conhecido como nabo mexicano. Para o preparo dos filmes baseados em biocompósitos foi feita uma suspensão de água destilada, amido, glicerol e foram incorporadas 2, 6 e 10g de celulose. Através das imagens de MEV foi possível visualizar boa dispersão do reforço na fase contínua. Características como a opacidade aumentaram nos filmes de biocompósitos em relação aos filmes puros, quanto mais celulose, mais opaco se tornou o filme. A resistência à água também foi aumentada, através do FTIR confirmou-se a natureza mais hidrofóbica. A inclusão da celulose na matriz também aumentou o índice de cristalinidade. Concluiu-se que o *bengkoang* é um material promissor para obtenção de reforço para aplicações de biocompósitos.

Collazo-Bigliardi; Ortega-Toro; Chiralt (2019) realizaram um trabalho com fibras de celulose extraídas das cascas de café e arroz, onde também foram extraídos extratos ativos destes resíduos. O objetivo foi melhorar propriedades dos filmes com a adição da celulose, além de conferir-lhes propriedades ativas através dos extratos. Estes extratos concederam propriedades antioxidantes e antibacterianas contra *Listeria innocua* e *Escheriquia coli*. Ainda, os extratos de ambos os detritos provocaram diminuição de 30% na permeabilidade ao vapor de

água e em média 50% na permeabilidade ao oxigênio. A celulose incorporada aumentou o módulo de elasticidade dos filmes, de 600% da casca de arroz e 400% para casca de café. No entanto, a adição dos extratos e celulose diminuiu a transparência dos filmes e os deixou marrons, característica interessante para aplicações, por exemplo, de preservação de alimentos que sofrem oxidação pela luz.

Mutmainna *et al.* (2019), desenvolveu biocompósitos utilizando amido (50%), quitosana (50%) e microfibras de folha de abacaxi em concentrações de 3%, 6% e 9%. Os materiais apresentaram maior resistência a tração com 9% de fibras. Através dos espectros de FTIR foi visualizada a formação de forte ligação C-H e C=C com o aumento da quantidade de reforço. No teste de biodegradação foi notado que a adição das fibras de folha de abacaxi aceleraram a degradação, mais uma vez sendo maior para a concentração de 9% de reforço. Por fim, constatou-se que o biofilme com adição de fibras do resíduo de abacaxi apresenta alto potencial para aplicabilidade em embalagens de alimentos.

Prado e Spinacé (2019), apontam a coroa de abacaxi como uma interessante fonte de celulose, que acaba sendo descartada devido a falta de conhecimento sobre as suas aplicações. O isolamento de nanocristais de celulose (CNC) a partir de resíduos de folhas de coroa de abacaxi é uma alternativa para agregar valor à este resíduo. Os nanocristais de celulose obtidos apresentaram alto índice de cristalinidade (73%), sua degradação térmica iniciou-se em 124 °C e apresentou alta hidrofiliabilidade. Os resultados mostraram que a nanocelulose cristalina extraída da coroa do abacaxi possui propriedades interessantes para ser utilizada em diversas aplicações, como por exemplo, reforço em nanocompósitos.

Noor Zulaika; Ong; Zainuddin (2020) prepararam filmes baseados em biocompósitos com amido de tapioca e celulose extraída da palha do arroz. O método utilizado foi de *casting* em solução com diversas concentrações do reforço (0,2g, 0,4g, 0,6g, 0,8g e 1,0g em peso), também foi utilizado o suco de limão como reticulador. Através do ensaio mecânico de tração percebeu-se que 0,6 g de celulose é a quantidade ideal para preparar os filmes com a presença do reticulador. O suco de limão como reticulador proporciona a ligação éster nos filmes, resultando em equilíbrio da hidrofília da matriz e do reforço. Os biofilmes de amido de tapioca e celulose reticulados com suco de limão apresentam maior resistência à tração e menor porcentagem de intumescimento em relação aos filmes de apenas de amido e suco de limão.

A partir dos trabalhos relacionados acima se percebe que a utilização da celulose como reforço melhora algumas limitações referentes à matrizes biodegradáveis. Verificou-se que as propriedades de permeabilidade e solubilidade diminuíram, enquanto que houve aumento das propriedades mecânicas, mostrando resultados promissores para aplicação destes materiais em embalagens.

## **5 Materiais e métodos**

### **5.1 Materiais**

Neste trabalho foi utilizada como matriz polimérica o biopolímero amido de milho da marca Bom Gosto, para obtenção dos filmes, também foi necessário o glicerol (Dinâmica), utilizado para a plastificação do amido.

Como material precursor para a obtenção da celulose foi utilizada a coroa do abacaxi doada pelo Restaurante Escola. Para o tratamento alcalino foi utilizado o hidróxido de sódio (NaOH) da marca Dinâmica e para o branqueamento hipoclorito de sódio (NaClO) da Marca Girando Sol.

### **5.2 Métodos**

#### **5.2.1 Obtenção de celulose a partir de coroa do abacaxi**

As folhas de coroa de abacaxi foram desbastadas, lavadas e secas em estufa a 65°C durante 48 horas. Após a secagem, que tem por objetivo remover a umidade, as mesmas foram moídas em um moinho de facas marca Marconi, modelo MA 340. Na sequência, foram passadas numa peneira de mesh 32, com o objetivo de obter uma granulometria uniforme.

As fibras foram tratadas por uma solução de hidróxido de sódio com concentração de 10%, onde ficaram em contato com a solução durante 1h, a 80 °C sob agitação mecânica. Em seguida, as fibras foram lavadas e filtradas em água destilada, até que a solução final atinja o pH 7, removendo qualquer resíduo de NaOH (MITTAL; CHAUDHARY, 2018).

As fibras tratadas foram secas em estufa a 50 °C durante 12 h. Após este tratamento o material foi branqueado utilizando o hipoclorito de sódio, ficando em contato com as fibras durante 24 h (SILVÉRIO *et al.*, 2013). Novamente o material foi lavado até atingir o pH neutro e seco em estufa a 50 °C por 12 h. As imagens do processo de tratamento estão ilustradas na Figura 6.

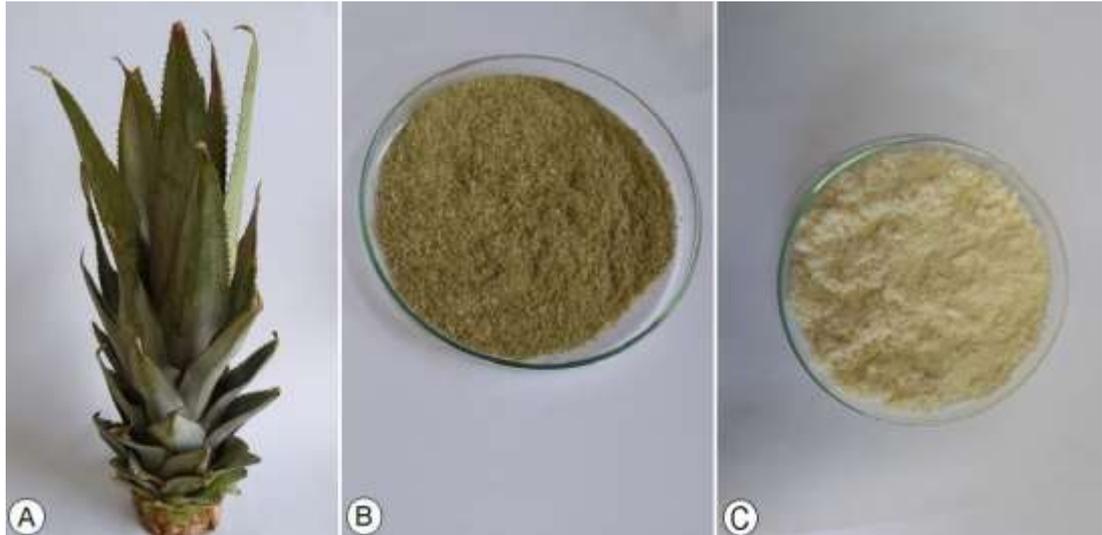


Figura 6 - Imagens de A) coroa do abacaxi, B) fibras obtidas a partir da coroa, C) celulose.  
Fonte: Próprio autor.

### 5.2.2 Preparo dos compósitos

Para o desenvolvimento dos filmes adaptou-se a metodologia de Martins *et al.* (2020), onde foram utilizados o biopolímero amido de milho como matriz e celulose extraída da coroa do abacaxi como reforço e os filmes foram elaborados pelo método *casting*.

Preparou-se uma solução de 5,0 g de amido e 1g de glicerol dispersos em água destilada e agitou-se em aquecimento até atingir 75 °C para ocorrer a gelatinização do amido. A celulose foi adicionada em concentrações de 5%, 10% e 15%, além disso, foram produzidos filmes de amido puro, sem adição de reforço para fins de comparação. As formulações estão expressas na Tabela 2.

Tabela 2 - Formulação dos filmes

Amostras	% Celulose	Celulose(g)	Glicerol (g)	Amido (g)	Água (g)
Amido puro	0%	0	1	5	94
5% celulose	5%	0,25	1	5	93,75
10%celulose	10%	0,50	1	5	93,50
15%celulose	15%	0,75	1	5	93,25

Fonte: Próprio autor.

Para a formação dos filmes, foi vertida uma quantidade padrão de 18g da solução formadora sobre placas acrílicas (90 mm de diâmetro) e secas em estufa a 35 °C, por 24 h. Após a secagem em estufa, os filmes foram desmoldados e acondicionados para futuras caracterizações. As etapas do processo de *casting* podem ser observadas na Figura 7.

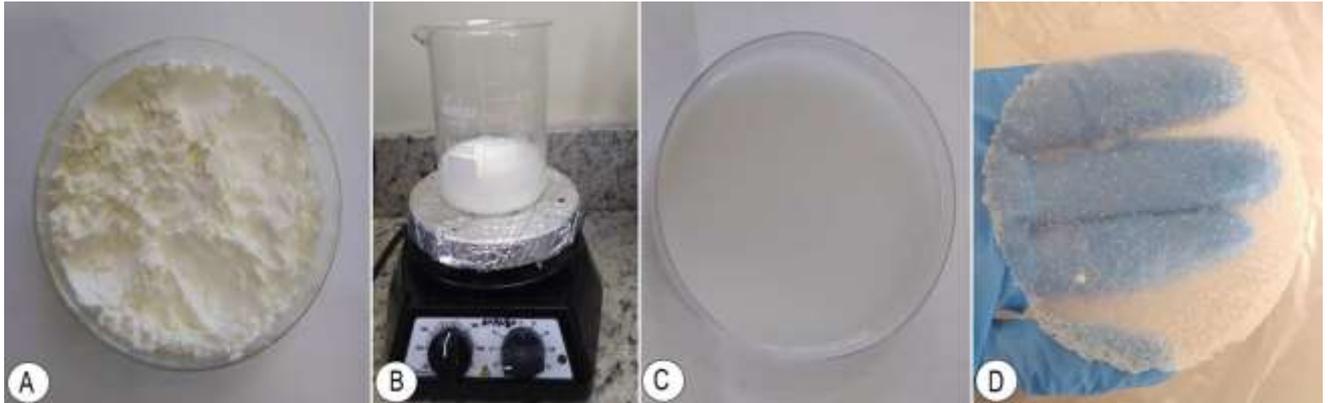


Figura 7 - Imagens de A) Amido, B) *casting*, C) solução formadora de filme vertida em placa de Petri, D) filme.

Fonte: Próprio autor.

### 5.2.3 Caracterizações

#### 5.2.3.1 Caracterização da celulose

##### 5.2.3.1.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A caracterização estrutural de grupos funcionais presentes nas partículas foi realizada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Para a realização desta análise foi utilizado um equipamento é da marca Shimadzu, modelo Prestige-21, localizado no laboratório CDCBio (Centro de Desenvolvimento e Controle em Biomateriais) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Os ensaios foram feitos em duplicata, utilizando a região 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

##### 5.2.4.1.2 Difração de raios-x

A cristalinidade da amostra foi avaliada através de difração de raios-X (DRX). O equipamento que foi utilizado é da marca Bruker, modelo D8 ADVANCE, situado

no Centro de Microscopia Eletrônica do Sul (Ceme-Sul) da Universidade Federal de Rio Grande (FURG). As análises foram realizadas com comprimento de onda ( $\lambda$ )= 1,541 Å, operando a 40 kV e 40 mA, utilizando uma velocidade de varredura de 1°/min, para valores de  $2\theta$  entre 10° e 90°.

Para calcular o índice de cristalinidade ( $I_c$ ) da fibra de coroa de abacaxi e da celulose utilizou-se a Equação 1 de Segal *et al.* (1959):

$$IC = \frac{I(002) - I(am)}{I(002)} \times 100 \quad (1)$$

Em que  $I_{am}$  é a intensidade do pico referente a região de  $2\theta = 16^\circ$ ;  $I_{002}$  é o valor máximo do pico de difração relativo ao pico de  $2\theta = 22^\circ$ .

#### 5.2.4.1.3 Termogravimetria

A fim de avaliar a estabilidade térmica da celulose foi realizada a análise termogravimétrica (TGA), utilizando uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, a partir da temperatura ambiente até 800 °C, em atmosfera inerte de nitrogênio. O equipamento que foi utilizado é da marca TA Instruments, modelo SDT Q600 TA Instruments. As análises foram realizadas no Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados da Universidade Federal do Piauí.

#### 5.2.4.2 Caracterização dos compósitos

##### 5.2.4.2.1 Espessura e gramatura

As espessuras dos filmes foram averiguadas com micrômetro externo de 0 à 25mm, com leitura de 0,01, da marca Eda Profissional. Cada filme foi verificado em cinco pontos diferentes escolhidos aleatoriamente, distribuídos entre as pontas e o centro. Após isto foram feitas as médias e desvio padrão para cada tipo de filme.

A gramatura das amostras foi obtida através da equação 2,

$$G = \frac{m}{A} \quad (2)$$

Em que G é a gramatura ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ), m é massa do filme (g) e A é área do filme ( $\text{cm}^2$ ). A área dos filmes foi padrão de  $16 \text{ cm}^2$  e a massa foi obtida através da pesagem em balança analítica de 3 amostras por formulação (IEWKITTAYAKORN, 2020).

#### 5.2.4.2.2 Solubilidade

Para determinação da solubilidade dos filmes a metodologia utilizada foi baseada em Luchese *et al.* (2018), onde foram separadas três amostras de cada formulação, com tamanho padrão de  $3\text{cm} \times 3\text{cm}$ , foram então secos em estufa a  $60^\circ\text{C}$  por 24 horas para estipular a massa seca inicial dos filmes. Em seguida foram dispostas em tubos falcon, com 50mL de água destilada e agitadas de tempos em tempos ao longo de 24 horas.

Após este período os filmes foram recolhidos da água e secos novamente em estufa à  $60^\circ \text{C}$  por 24h para definir a massa que não foi solubilizada. A solubilidade então foi calculada através da equação 3:

$$\text{Variação de massa (\%)} = \frac{(M_i - M_f)}{(M_i)} \cdot 100 \quad (3)$$

onde  $M_i$  representa a massa inicial e  $M_f$  refere-se a massa final após a solubilização.

#### 5.2.4.2.3 Taxa de permeabilidade ao vapor d' água (TPVA)

Uma importante característica a ser avaliada são as características de barreira dos compósitos em comparação a amostra controle. Os filmes foram caracterizados quanto a sua propriedade de permeabilidade ao vapor de água, seguindo as normas ASTM E 96/E.

Foram utilizados recipientes de vidro cilíndricos com abertura redonda com uma área de  $0,0007 \text{ m}^2$ , nos recipientes foram adicionados 20 ml de água destilada. Os filmes foram acondicionados e presos em cima dos copos, garantindo a vedação

da superfície. Os recipientes foram acomodados em um dessecador com sílica à temperatura ambiente, conforme figura 8.

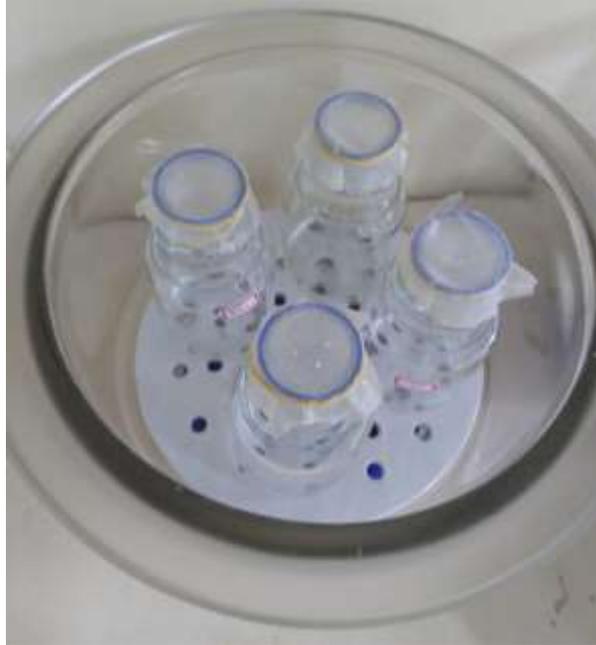


Figura 8 - Ensaio de taxa de permeabilidade ao vapor d'água.

Fonte: Próprio autor.

As perdas de peso foram medidas a cada 24h por um período de cinco dias e entre cada medida a sílica foi trocada por uma nova. As medidas foram feitas em duplicata para cada formulação e o resultado da taxa de permeabilidade ao vapor d'água (TPVA) foi calculada através da equação 4 (DAVLETBAEVA *et al.*, 2019):

$$TPVA = \frac{G}{tA} \quad (4)$$

onde G corresponde a variação de massa, t é a duração do ensaio em dias e A é a área do bocal coberta pelo filme em m<sup>2</sup>.

#### 5.2.4.2.4 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Análises de DSC foram utilizadas para determinar a influência da adição da celulose na temperatura de fusão dos filmes. Para as análises utilizou-se o equipamento da TA Instruments, modelo Q2000, em atmosfera de nitrogênio com

fluxo constante de 50 ml/min. As amostras foram aquecidas até 200°C a uma taxa de aquecimento de 20°C/min. As análises foram realizadas no Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da Universidade Federal de São Carlos.

#### **5.2.4.2.5 Ensaio de tração**

A caracterização mecânica foi realizada através de ensaios de tração. Os corpos de prova foram produzidos e ensaiados de acordo com a norma ASTM D882-12. As fitas foram produzidas com 80 mm de comprimento e 12mm de largura, um total de 5 amostras foram ensaiadas para cada composição. O teste foi feito em uma máquina de ensaios Instron, modelo 5569, com célula de carga de 500 N e aplicação de pré-carga de 0,5 N, com velocidade do ensaio de 12,5 mm/min. Os ensaios foram realizados no Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da Universidade Federal de São Carlos.

#### **5.2.4.2.6 Microscopia Óptica (MO)**

A morfologia dos compósitos e a dispersão do reforço foi avaliada através de um estereomicroscópio trinocular da marca Laborama, modelo 06-KTESD5000, com zoom de 4x realizado na Estação experimental Cascata (Embrapa Clima Temperado).

#### **5.2.4.2.7 Fitotoxicidade**

A avaliação de fitotoxicidade dos filmes é feita para investigar se há toxicidade nos compostos ao se degradarem, influenciando no crescimento de plantas. Este experimento foi realizado através do crescimento de sementes de alface (*Lactuca sativa*), pelo fato desta espécie ser considerada como modelo para este tipo de teste (OCDE 208), por apresentar alta sensibilidade às alterações.

Primeiramente os filmes (1g) foram triturados e misturados ao substrato comercial da marca Carolina Soil, então foram plantadas três sementes de alface e três repetições para cada formulação de filme (puro, 5% celulose, 10% celulose,

15% celulose), totalizando 9 sementes para cada formulação, além da célula controle sem adição do material.

Após os 20 dias de crescimento, as plântulas foram arrancadas e avaliadas através do teste de massa fresca e seca possibilita avaliar a ação das substâncias existentes nos polímeros na germinação e desenvolvimento de plantas. A massa fresca foi feita logo após a coleta das mudas, através da pesagem em balança e a massa seca é verificada após a secagem das mesmas em estufa durante 24h, para aferir o crescimento vegetal sem levar em consideração a concentração de água. Estas variáveis são avaliadas para verificar se houve diferenças no crescimento da alface. Ainda foi feita a avaliação da germinação das sementes através de contagem passados 20 dias de experimento. A Figura 9 mostra como as sementes foram dispostas para o experimento (CASTILLO *et al.*, 2019).



Figura 9 - Sementes de alface recém plantadas.  
Fonte: Próprio autor.

#### **5.2.4.2.8 Teste de biodegradabilidade - Perda de massa**

O teste de biodegradação foi feito de acordo com a norma ASTM G 160-03. O solo simulado foi preparando a partir de partes iguais dos componentes sendo, 1,4 kg de areia de praia, 1,4 kg de esterco de cavalo seco durante 48 horas e 1,4 kg de solo fértil. Os componentes foram misturados, foi adicionado 30% de água destilada para manter a umidade e o solo ficou maturando durante 3 meses em um recipiente fechado.

Após a maturação do solo, o sistema foi montado por recipientes, nas quais foram adicionados o solo preparado anteriormente e as amostras em formato de 5cmx5cm. Os filmes foram acondicionados nos sistemas para serem retirados após 15, 30, 45 e 60 dias, sendo que cada reservatório continha cinco amostras de cada formulação e do filme controle, como mostra a Figura 10. Sendo assim, foram colocados em estufa a 30 °C e a cada sete dias foi borrifado 5 ml de água para manter a umidade, e então a cada retirada os filmes foram limpos e pesados.

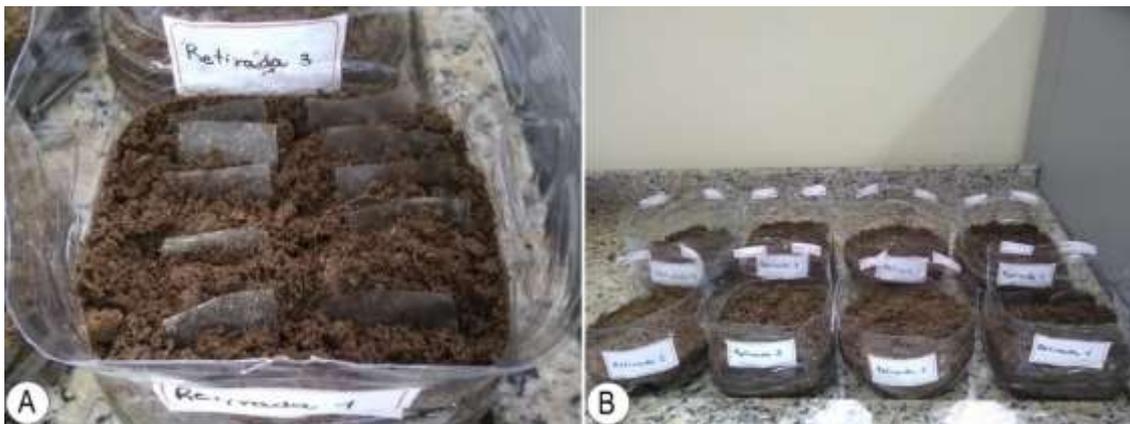


Figura 10 - sistema de biodegradação: a) disposição dos corpos de prova, b) sistema completo com todas as retiradas.

Fonte: Próprio autor.

Foi avaliada a biodegradabilidade dos filmes em solo simulado, realizado segundo a norma ASTM G 160-03. A avaliação para apreciação da biodegradabilidade foi realizada por meio da perda de massa dos compósitos e filme puro após os dias determinados, em que o dia 0 corresponde a massa inicial (COELHO *et al.*, 2008). A perda de massa foi calculada através da equação 5, onde  $M_i$  corresponde a massa inicial e  $M_f$  refere-se a massa final.

$$\text{Perda de massa (\%)} = \frac{(M_i - M_f)}{(M_i)} \cdot 100 \quad (5)$$

#### 5.2.4.2.9 Teste de biodegradabilidade - Inspeção visual

O efeito macroscópico da biodegradação nos filmes foi realizado pela inspeção visual de filmes antes e depois do ensaio em solo, através de fotografias com câmera de resolução de 12 Megapixels (BATISTA *et al.*, 2010).

#### **5.2.4.2.10 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)**

A caracterização estrutural de grupos funcionais dos filmes antes e após a biodegradação foi realizada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Para a realização desta análise foi utilizado o mesmo equipamento descrito no item 5.2.4.1.1.

#### **5.2.4.2.11 Análise Estatística**

Para saber se houveram diferenças significativas, alguns resultados foram aplicados à Análise de Variância (ANOVA) e as distinções entre as amostras foram avaliados pelo teste Tukey à 5% de significância, através do programa PAST versão 3.20 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

## 6 Resultados e Discussão

### 6.1 Caracterização da celulose

#### 6.1.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A Figura 11 demonstra os espectros de infravermelho da fibra de coroa de abacaxi e da celulose. Ambas as amostras apresentaram absorção na região de  $3800-3200\text{ cm}^{-1}$ , comportamento comum de fibras vegetais, esta banda representa estiramento de OH. A hemicelulose, lignina e celulose expressam parâmetros parecidos nesta região, portanto, a remoção de algum destes componentes não alterou esta banda (PEREIRA *et al.*, 2020).

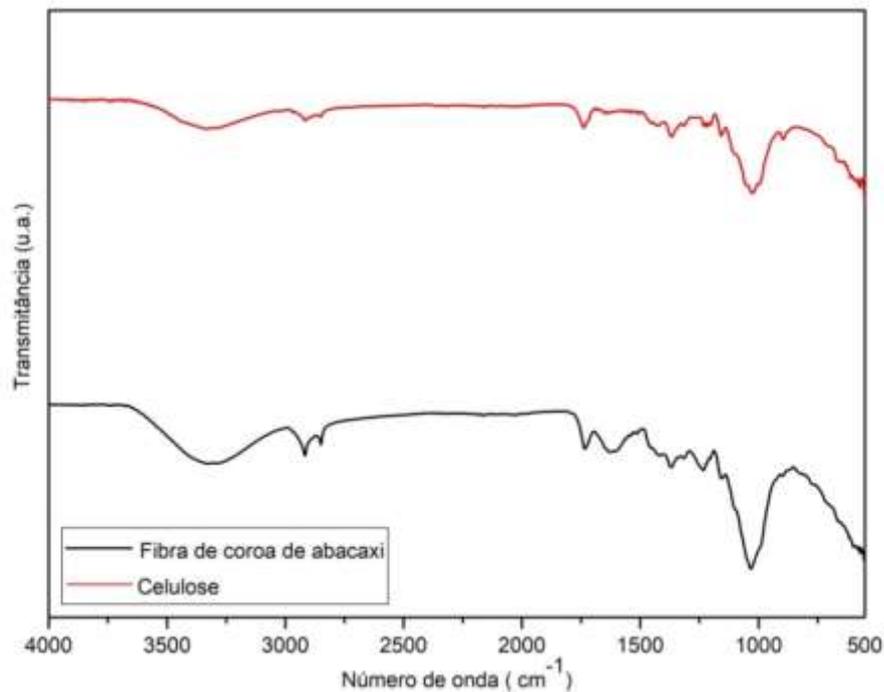


Figura 11 - Espectros de FTIR da fibra de coroa de abacaxi e celulose.  
Fonte: Próprio autor.

A região de  $2885\text{ cm}^{-1}$  refere-se ao alongamento simétrico da ligação C–H. Em  $1000-1200\text{ cm}^{-1}$ , os picos estão relacionados aos grupos polissacarídeos característicos C–O–C, C–O e C–O–H. A banda de  $897\text{ cm}^{-1}$  é atribuída à deformação da ligação C–H na celulose. A celulose obtida apresenta um padrão similar em relação à fibra sem tratamento (CHOQUECAHUA *et al.* (2020); PEREIRA *et al.* (2020).

Algumas bandas que parecem estar alteradas quando comparada a fibra e a celulose podem ser um indicativo de mudanças químicas. Entre elas está a banda em  $1610\text{ cm}^{-1}$ , refere-se à estrutura aromática da lignina, em  $1250\text{ cm}^{-1}$  (estiramento do éter) e em  $900\text{ cm}^{-1}$  banda típica da celulose. Estas alterações sugerem uma redução da fração de hemicelulose e lignina e estas mesmas mudanças foram apontadas por Pereira *et al.* (2020) e Choquechua *et al.* (2020) ao tratar quimicamente a coroa de abacaxi.

### 6.1.2 Difração de Raios-X (DRX)

O tratamento alcalino e branqueamento atuam na remoção parcial de alguns compostos amorfos e extraíndo apenas a celulose, composto mais cristalino. As fibras de coroa de abacaxi e a celulose também foram caracterizadas por DRX, e os resultados são mostrados na Figura 12.

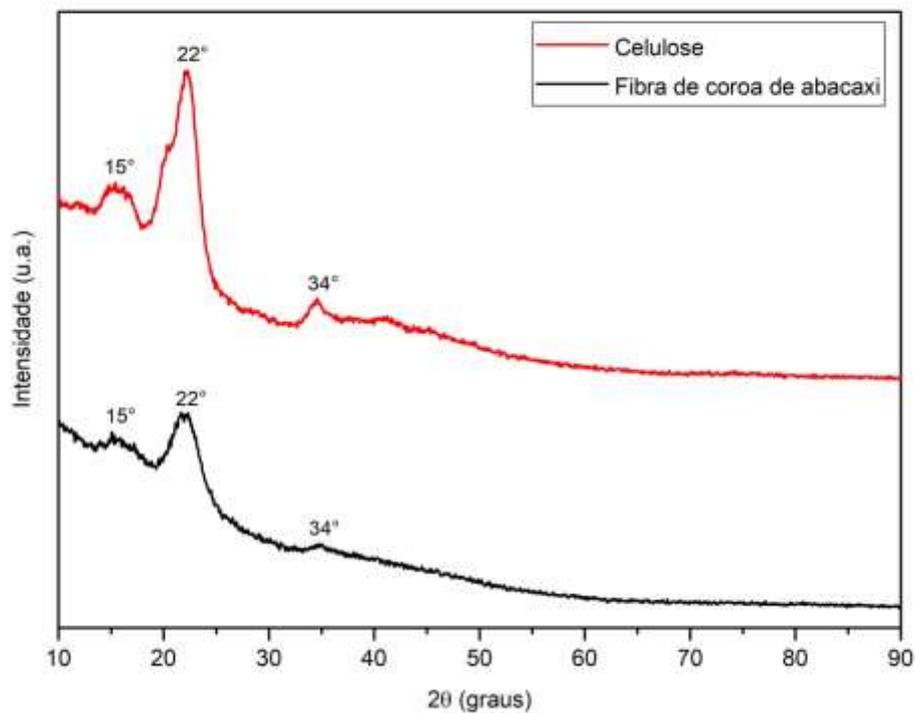


Figura 12 - DRX da fibra de coroa de abacaxi e celulose.  
Fonte: Próprio autor.

O gráfico apresenta dois picos em 15° (101) e 22° (002), que são picos característicos relacionados às fibras vegetais e um pico de menor intensidade em 34° (040), que corresponde ao alinhamento e direção das fibras, todos representando o aspecto semicristalino deste tipo de material (MARIÑO; REZENDE; TASIC, 2018). É notável a definição e aumento da intensidade do pico em 22° para a celulose em relação à fibra, indicando aumento da cristalinidade, o que sugere que os compostos amorfos como hemicelulose e lignina foram removidos. O aumento da cristalinidade pode colaborar para o aprimoramento de algumas propriedades dos filmes, principalmente suas propriedades mecânicas (CAI *et al.* 2016 ).

Foram calculados o índice de cristalinidade para amostra de fibra de coroa de abacaxi e celulose para quantificar este aumento. O resultado é encontrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores do índice de cristalinidade das amostras

<b>Amostra</b>	<b>Índice de cristalinidade (%)</b>
<b>Coroa de abacaxi</b>	25%
<b>Celulose</b>	77%

Fonte: Próprio autor.

É possível verificar que a cristalinidade foi elevada de 25% para fibra de coroa de abacaxi para 77% da celulose. Pode-se aferir então que houve o aumento da cristalinidade quando extraída a celulose, mostrando que os tratamentos foram eficazes, removendo alguns compostos amorfos.

Os mesmos picos e características foram encontrados por Liu *et al.* (2019) ao caracterizar fibras do caule do milho e Senthamarai Kannan *et al.* (2019), através de fibras da casca de acácia, ambos trabalhos comparando fibras com tratamento e sem tratamento por solução alcalina.

### **6.1.3 Termogravimetria (TGA)**

O TGA foi realizado para avaliar a influência dos tratamentos na extração da celulose, como também a estabilidade térmica da mesma e das fibras naturais. As curvas de perda de massa em função da temperatura e da derivada da variação de

massa (DTG) de fibra da coroa do abacaxi e celulose podem ser observadas nas Figuras 13 e 14, respectivamente.

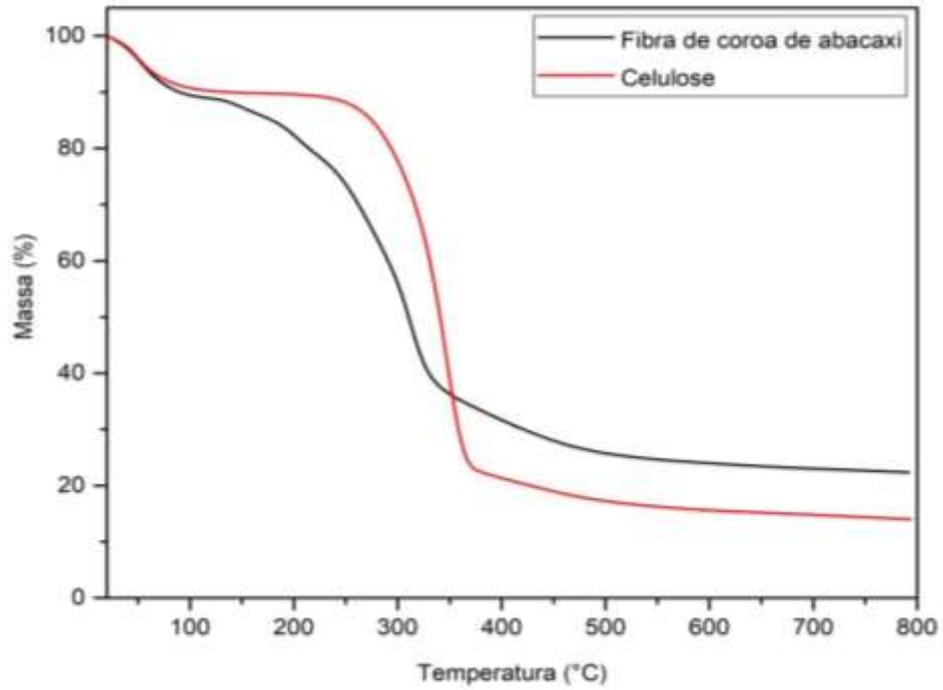


Figura 13 - Análise termogravimétrica das fibras de coroa de abacaxi e celulose.  
Fonte: Próprio autor.

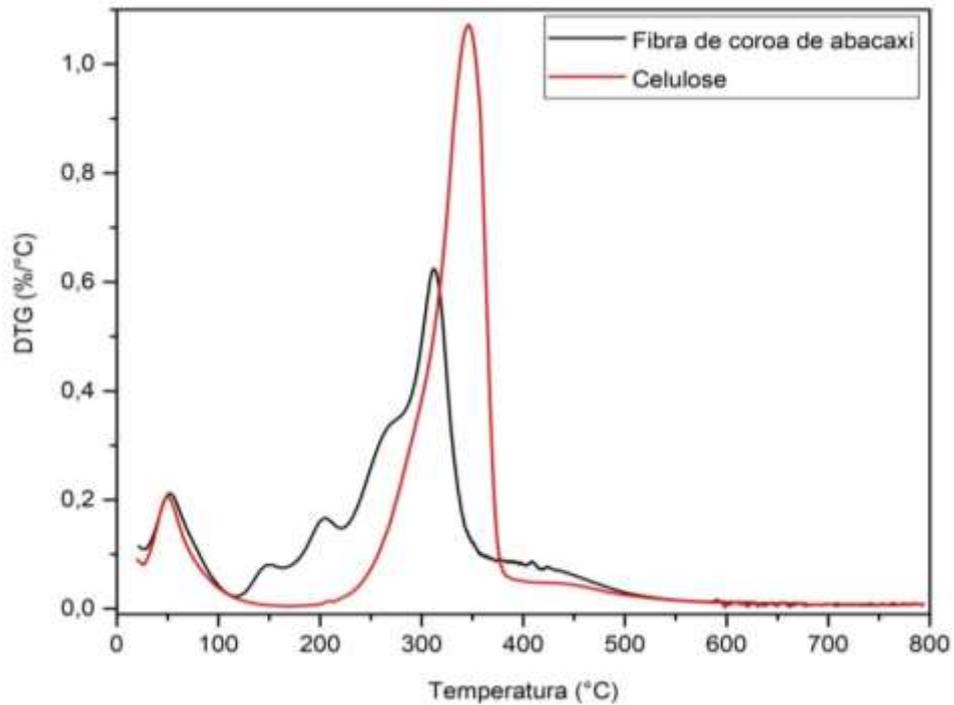


Figura 14 - DTG das amostras de fibras de coroa de abacaxi e celulose.  
Fonte: Próprio autor.

Observando as curvas de perda de massa e DTG, é possível observar que a celulose têm dois estágios principais de perda de massa. O primeiro é caracterizado por perda de água (cerca de 10% em peso). O segundo estágio está relacionado à degradação da celulose em aproximadamente 350 °C (perda de massa em torno de 75% em peso) (BALAJI; NAGARAJAN, 2017; SENTHAMARAIKANNAN; KATHIRESAN, 2018).

Já as fibras de coroa de abacaxi apresentam mais estágios de perda de massa do que a celulose, uma vez que o tratamento remove compostos solúveis, portanto podem-se identificar quatro estágios principais de perda de massa para estes materiais. O primeiro estágio corresponde à perda de umidade (7% em peso), o segundo, em 200 a 230°C está ligado à despolimerização térmica da hemicelulose com perda de aproximadamente, 10% em peso. Entre 230 e 290 °C, um decréscimo de massa de 25% relativo à degradação da lignina. A quarta e última etapa em 315 °C corresponde à decomposição da celulose (perda de massa em torno de 35%) (SATHISHKUMAR *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2019).

Esses resultados mostram que a extração de celulose das fibras foi efetiva e promove mudanças no processo de degradação das fibras e ainda é possível perceber o aumento na estabilidade térmica na celulose.

## **6.2 Caracterização dos filmes**

### **6.2.1 Espessura e gramatura**

A espessura e a gramatura são a características que permitem avaliar a uniformidade dos filmes e assim podem influenciar nas propriedades mecânicas e de barreira destes materiais, ou seja, o aumento destes aspectos está ligado ao desempenho final dos filmes. Os resultados de espessura e gramatura encontrada nos filmes podem ser observadas na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Dados obtidos para espessura e gramatura dos diferentes filmes.

<b>Amostra</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Gramatura (g/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Amido Puro</b>	0,12 ± 0,01	0,025 ± 0,002
<b>5% Celulose</b>	0,13 ± 0,02	0,027 ± 0,001
<b>10% Celulose</b>	0,13 ± 0,01	0,031 ± 0,003
<b>15% Celulose</b>	0,12 ± 0,01	0,032 ± 0,004

Fonte: Próprio autor.

Não foi observado um aumento da espessura com a adição de celulose em relação à amostra controle. Este resultado demonstra que os filmes apresentaram homogeneidade, decorrentes de um bom espalhamento e quantidade padrão utilizada de solução filmogênica na placa de Petri, além da evaporação uniforme do solvente. Collazo-Bigliardi; Ortega-Toro; Chiralt Boix (2018), também não verificaram grandes variações nas espessuras de filmes de amido ao adicionar fibras de café e de arroz.

O pequeno aumento na gramatura dos filmes pode ser justificado pelo incremento de massa com a incorporação da celulose, mesmo com a baixa densidade do reforço, a adição de volume das fibras contribui para o aumento da massa do filme e conseqüentemente para elevação desta propriedade (PEGO; BIANCHI; YASUMURA, 2020). A adição do reforço também não influenciou na flexibilidade dos materiais, como demonstrado na Figura 15. Todos os filmes apresentaram grande flexibilidade e a adição do reforço não concedeu fragilidade aparente aos filmes.

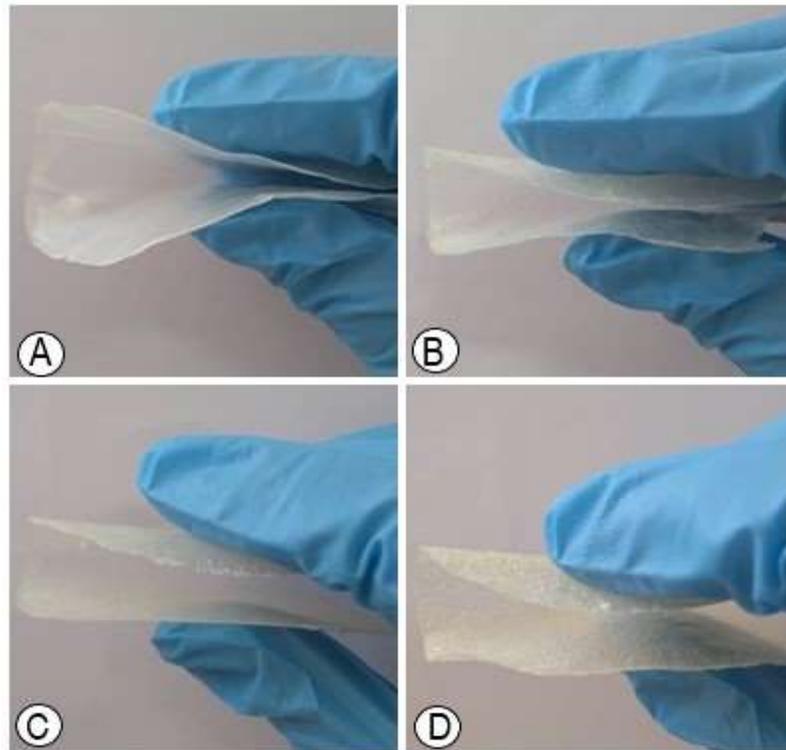


Figura 15 - Flexibilidade dos filmes, A) Amido Puro, B) Biocompósito com 5% celulose, C) Biocompósito com 10% celulose, D) Biocompósito com 15% celulose.  
Fonte: Próprio autor.

### 6.2.2 Solubilidade

O estudo da solubilidade em água dos filmes é importante, pois em alguns casos é necessário que o material seja menos solúvel em água para assegurar a integridade do produto. Os resultados de solubilidade em água das amostras é demonstrada na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados da análise de solubilidade dos filmes em água.

<b>Amostra</b>	<b>Solubilidade em água (%)</b>
<b>Amido Puro</b>	25% <sup>a</sup>
<b>5% Celulose</b>	5,8% <sup>b</sup>
<b>10% Celulose</b>	11,7% <sup>c</sup>
<b>15% Celulose</b>	4,1% <sup>d</sup>

Fonte: Próprio autor.

Os filmes de amido puro apresentaram maior solubilidade em relação aos reforçados com diferentes concentrações de celulose. Este comportamento está associado ao fato da matriz formar ligações de hidrogênio com a água, tornando este material mais solúvel. Por outro lado, o acréscimo de celulose diminui a porcentagem de solubilidade, que se pode relacionar à sua insolubilidade em água e as interações reforço-matriz (ALMEIDA *et al.*, 2013). Normalmente, com o aumento do teor de fibra, a solubilidade diminui, no entanto, a diferença na amostra com reforço de 10% de celulose pode estar relacionada à maior quantidade de vazios ou fissuras não aparentes, resultando em aumento da solubilidade em comparação com outros biocompósitos (Edhirej *et al.* 2017; Halimatul *et al.* 2019).

Edhirej *et al.* (2017), em seu trabalho com amido de mandioca e fibras de palma, perceberam que a adição das fibras diminui a solubilidade dos filmes. Também notou-se que a solubilidade diminuiu com maiores teores de fibra, em que filmes com menor teor foram mais solúveis em relação à aqueles com alto teor. O mesmo desempenho também foi averiguado por Almeida *et al.* (2013), em filmes de fécula de batata reforçados com celulose bacteriana apresentando menor solubilidade (56%) em relação aos filmes apenas com a fécula (86%).

### **6.2.3 Taxa de permeabilidade ao vapor d' água (TPVA)**

Filmes biodegradáveis destinados à aplicação em embalagens devem apresentar uma TPVA o mais baixa possível, considerando que a umidade poderá afetar a conservação do alimento, por consequência, esta propriedade se torna extremamente interessante. Além disso, esta propriedade está associada à condições como a estrutura do filme, quantidade de plastificante e da presença de constituintes hidrofílicos. (AZEVEDO *et al.*, 2017).

Na Tabela 6 estão apresentados os dados de perda de massa e a taxa de permeabilidade ao vapor d'água das amostras estudadas. A perda de massa do sistema indica quanto de água foi transferido pelo filme até a sílica durante todo período de ensaio, ou seja, ao fim das 120h. Pode-se perceber que a perda foi menor no filme de 15% de celulose e sem grandes diferenças nos outros filmes.

Tabela 6 - Dados da perda de massa e taxa de permeabilidade ao vapor d' água dos filmes.

<b>Amostras</b>	<b>Perda de massa (g/120h)</b>	<b>TPVA (g/m<sup>2</sup>. 24h)</b>
<b>Amido puro</b>	1,93 ± 0,04	587 ± 51,92 <sup>a</sup>
<b>5% celulose</b>	1,85 ± 0,07	562 ± 83,89 <sup>ab</sup>
<b>10% celulose</b>	1,89 ± 0,02	550 ± 33,16 <sup>ab</sup>
<b>15% celulose</b>	1,55 ± 0,07	501,4 ± 66,81 <sup>b</sup>

Fonte: Próprio autor.

Para melhor visualização, os dados de taxa de permeabilidade também estão expressos na Figura 16. Através da análise estatística verifica-se que a diferença significativa ficou somente entre o filme de amido e o reforçado com 15% de celulose. Portanto, apesar das fibras não ocuparem a superfície do filme por inteiro, o aumento da porcentagem de fibras podem dificultar brevemente a passagem dos vapores d' água. Logo, a diminuição da permeabilidade está relacionada à quantidade de reforço, sendo mais efetiva com a adição de maiores teores (WITTAYA, 2009).

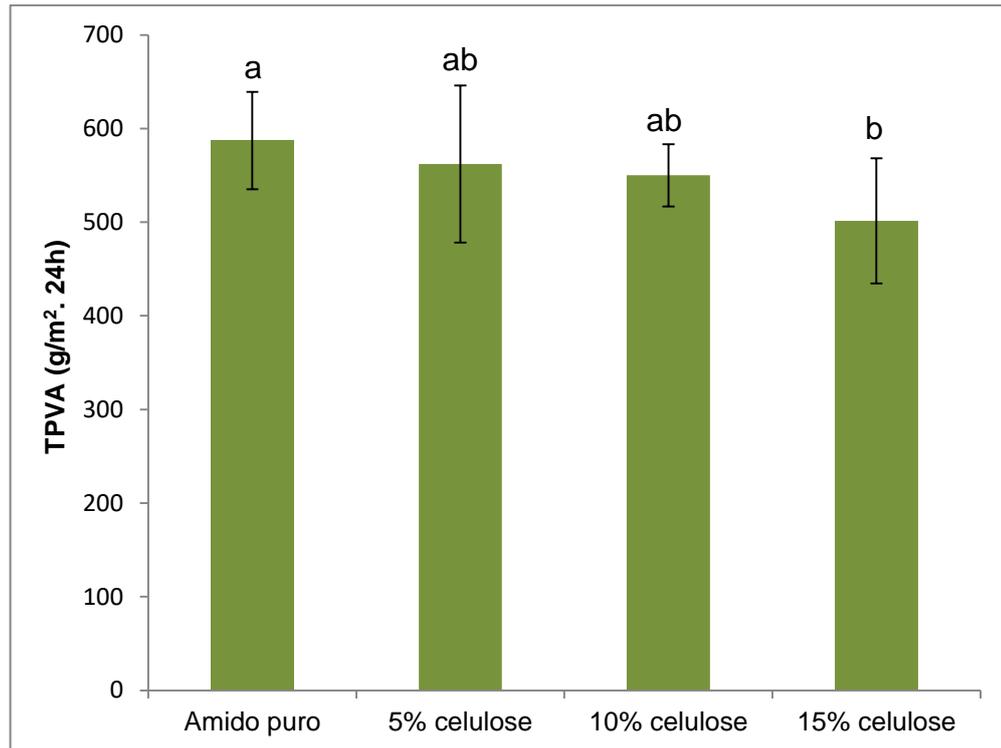


Figura 16 - Gráfico da taxa de permeabilidade ao vapor d' água dos diferentes filmes. \* Valores seguidos por pelo menos uma letra em comum apontam distinções não significativas em condição de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Próprio autor.

A celulose atua como um dificultador para o vapor d'água, diminuindo os espaços livres. Desta maneira, com a presença do reforço as moléculas penetrantes terão que percorrer um caminho maior para se desviar da celulose quando comparado a matriz polimérica pura. Além disso, os autores sugerem que existe uma forte interação entre o amido e a celulose, resultando em diminuição da solubilidade e conseqüentemente da permeabilidade ao vapor d'água, como foi averiguado nos resultados dos biocompósitos estudados (SILVA *et al.*, 2015).

Wittaya (2009) em seu trabalho com amido de arroz e celulose microcristalina (0 à 40% de reforço) verificou que a permeabilidade dos filmes de amido de arroz diminuiu conforme a quantidade de reforço de celulose aumentou, a partir de 15% de adição de celulose a permeabilidade dos filmes decresce regularmente. Collazo-Bigliardi; Ortega-Toro; Chiralt Boix (2018), ao desenvolverem filmes de amido reforçados com 1%, 5% e 10% de celulose extraída da casca de arroz e do café, verificaram que a permeabilidade não foi afetada pela incorporação de fibra.

Mali; Grossmann (2003), realizou uma comparação em seu trabalho entre filmes de amido de inhame e filmes de PVC. Foi constatado que recipientes embalados com PVC mostraram acúmulo de gotículas de água, aumentando a

umidade dos alimentos, beneficiando o desenvolvimento de microrganismos. Nos filmes de amido não foi verificada esta condição, podendo ser uma vantagem do produto e um benefício para o consumidor.

Em síntese, notou-se que a presença de celulose ocasiona a diminuição da permeabilidade ao vapor d'água, no entanto, há uma quantidade mínima de reforço a ser adicionado para surtir efeito. Sendo assim, o biocompósito com 15% de reforço teve uma diminuição de 16% na permeabilidade quando comparado ao amido puro, sendo um resultado promissor para uma possível aplicação em embalagens.

#### 6.2.4 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As curvas de análise térmica obtidas por DSC são válidas para investigar se a inserção de celulose pode alterar a temperatura de uso do amido. Na Figura 17 é possível observar o pico de fusão das amostras e a Tabela 7 é referente à temperatura de início da gelatinização (*T<sub>onset</sub>*), a temperatura de fusão (*T<sub>m</sub>*) e a variação de entalpia ( $\Delta H$ ).

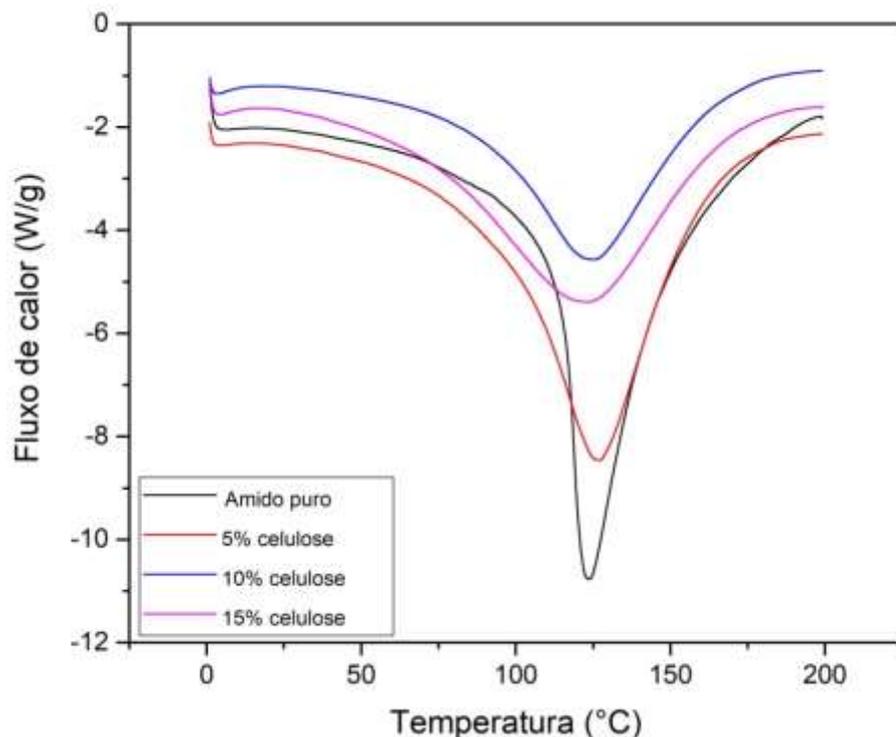


Figura 17 - Curvas de DSC dos filmes.  
Fonte: Próprio autor.

Os dados relatados sugerem que não houve variações significativas na temperatura de fusão ao se adicionar o reforço à matriz, de forma geral, estas temperaturas ficaram em torno de 120°C.

A *Tonset* está relacionada ao início da gelatinização do amido, referente a desagregação das ligações intermoleculares, possibilitando a constituição de novas ligações de hidrogênio, impregnando mais água e diluindo os grãos de amido (GAZONATO *et al.*, 2019). Todavia, com a adição da celulose percebe-se que a temperatura de início da gelatinização não sofre mudanças. O filme controle foi o que apresentou maior energia necessária para a desorganização da ordem molecular, com  $\Delta H = 90$  J/g e menor para formulação com 15% de celulose incorporada,  $\Delta H = 23$  J/g.

Tabela 7 - Dados obtidos das curvas de DSC.

<b>Amostras</b>	<b>Tonset (°C)</b>	<b>Tm (°C)</b>	<b><math>\Delta H</math> (J/g)</b>
<b>Amido Puro</b>	78	123	90
<b>5% celulose</b>	76	126	63
<b>10% celulose</b>	75	124	44
<b>15% celulose</b>	74	123	23

Fonte: Próprio autor.

Dados obtidos por Luchese *et al.* (2018) são semelhantes, em que em média se encontra 104 °C ( $\pm 27$ ) para temperatura de fusão e 76,3 J/g de entalpia de fusão para filmes de amido puro. Por outro lado, Gazonato *et al.* (2019) ao estudar filmes de amido de milho com borra de café obteve temperaturas de fusão entre 149,41 °C a 155,48 °C, não havendo variações significativas entre as diferentes concentrações de reforço (0% - 0,50% de café moído). No entanto, os autores pontuam que as temperaturas foram maiores que o esperado e explicam que pode ter sido por alguma adição de lignossulfonatos ao amido de milho.

### 6.2.5 Ensaio de tração

O conhecimento das características mecânicas dos filmes é essencial para sua aplicabilidade em produtos (CHEN *et al*, 2020). As Figuras 18 e 19 correspondem aos resultados de módulo de Young e resistência à tração, respectivamente.

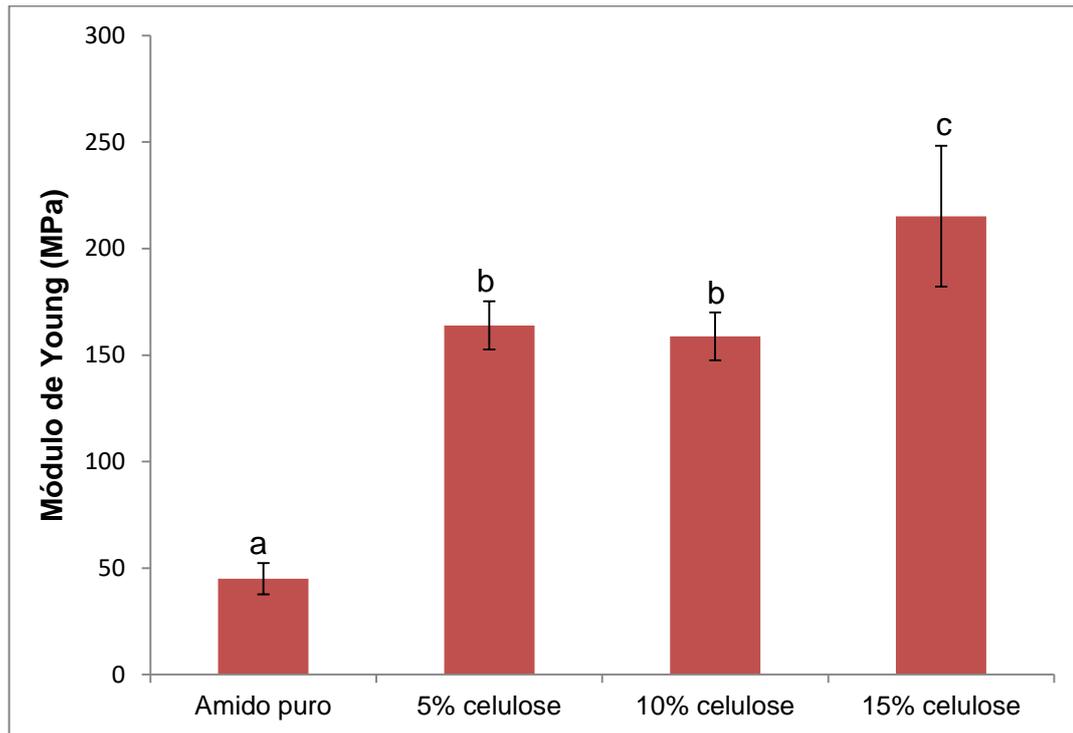


Figura 18 - Valores médios relacionados ao Módulo de Young dos corpos de prova ensaiados. \* Valores seguidos por pelo menos uma letra em comum apontam distinções não significativas em condição de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Próprio autor.

Ao analisar os resultados do módulo elástico na Figura 18, é possível verificar que os filmes preparados com diferentes concentrações de celulose apresentaram valores de módulo superiores em relação ao filme de amido puro. Ainda, pode-se notar que não houve diferenças significativas entre as amostras preparadas com 5% e 10% de carga. Já a amostra preparada com o incremento de 15% de celulose apresentou os maiores resultados para o módulo de elasticidade e resultou em um aumento de 377,76% quando comparado ao resultado do filme controle. Também é importante notar que a quantidade de reforço desempenha um papel significativo nas propriedades dos filmes biocompósitos. Este resultado mostra que com a incorporação das fibras de celulose, os filmes acabam aumentando sua rigidez, o

aumento nesta propriedade pode ser devido à formação de ligações entre o amido e a celulose e à presença de uma fase dispersa mais rígida que a matriz (TELES *et al.*, 2021).

A resistência à tração do filme puro e dos biocompósitos é mostrada na Figura 19. Através da análise estatística foi indicado que as únicas diferenças significativas foram entre os percentuais de reforço de 5% e 10% em relação a 15%. Não se obteve diferenças significativas entre o filme controle e os filmes reforçados, isto se deve em função da fibra não estar dispersa de maneira uniforme na extensão do material, de modo que a tensão acaba se acumulando em algum ponto da matriz e não transferindo as tensões de maneira uniforme. Outro fator que pode influenciar esta propriedade é a espessura dos filmes, geralmente quanto maior a espessura maior a resistência à tração, neste estudo não houve diferenças na espessura dos filmes quando adicionada a fibra (EL HALAL *et al.*, 2018).

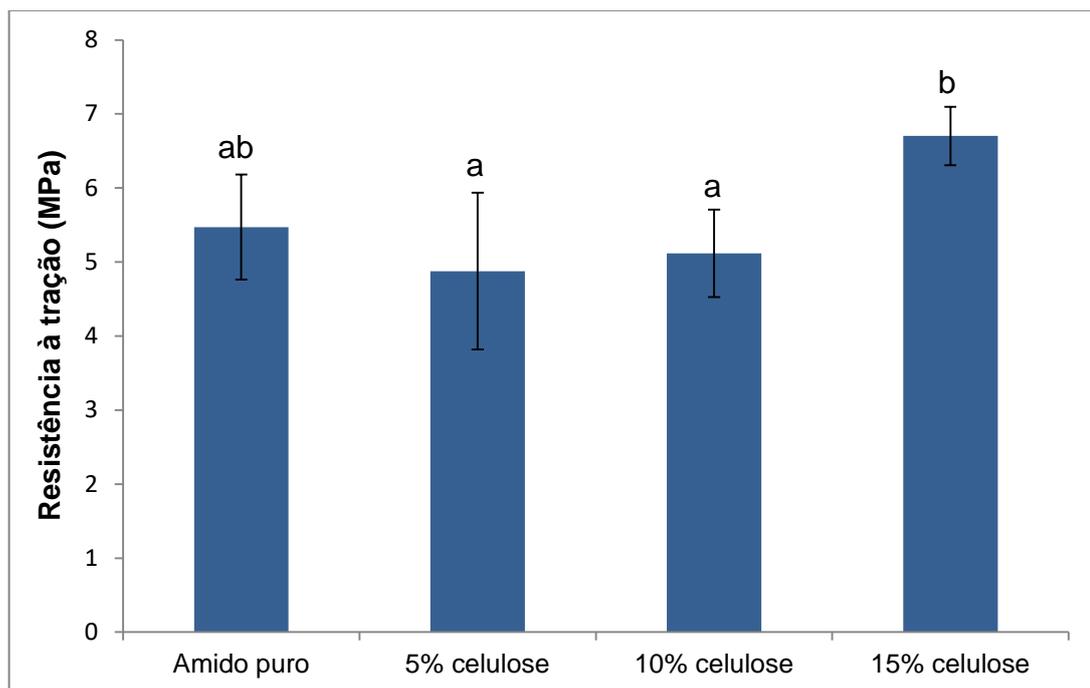


Figura 19 - Valores médios relacionados à resistência à tração dos corpos de prova ensaiados. \*Valores seguidos por pelo menos uma letra em comum apontam distinções não significativas em condição de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Próprio autor.

El Halal *et al.*, 2018, também verificou que a adição de celulose não produziu melhorias significativas na resistência à tração quando incorporada aos filmes de amido de batata. Souza; Silva; Druzian (2012), ao adicionar fibras da polpa de manga e acerola em filmes de amido de mandioca obtiveram diminuição significativa

da resistência a tração comparadas ao filme de amido puro. Os autores acreditam que esta condição se deu em virtude de fraca adesão das polpas com a matriz.

Em comparação com a resistência a tração encontrada para o PVC, polímero muito utilizado para filmes, Srinivasa *et al.* (2003) relataram resistência à tração de 25 MPa, valores bem maiores quando comparados ao filme com maiores valores deste estudo, 6,7 Mpa. Portanto, a aplicação destes filmes irá depender muito da solicitação que o produto requer.

### 6.2.6 Microscopia Óptica (MO)

Através das imagens obtidas por microscopia óptica pode-se verificar a distribuição dos reforços na matriz. Na Figura 20 são apresentadas as imagens obtidas através do estereomicroscópio, com aproximação de 4x.

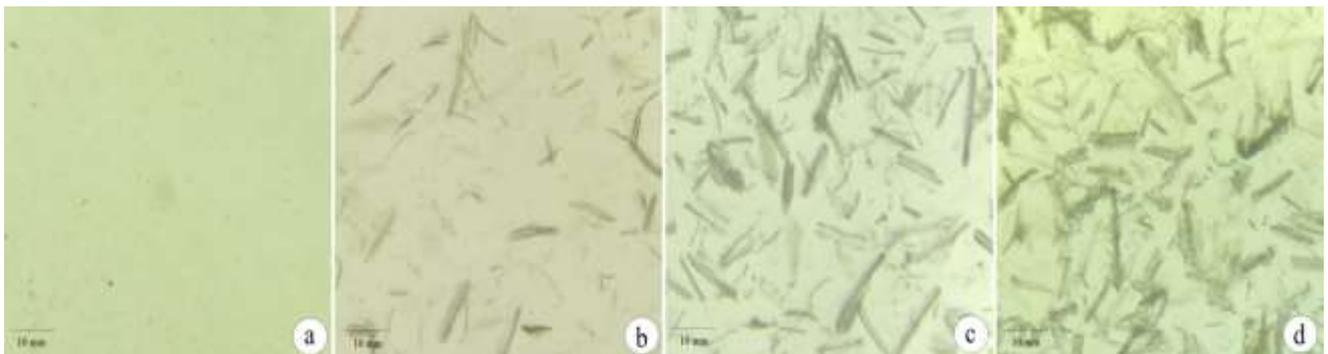


Figura 20 - Imagens de microscopia dos filmes de: A) Amido puro, B) Biocompósito com 5% de celulose, C) Biocompósito com 10% de celulose, D) Biocompósito com 15% de celulose.  
Fonte: Próprio autor.

Na Figura 20-A está apresentada a imagem da superfície dos filmes de amido, sem adição da celulose, é possível visualizar uma superfície lisa, sem presença de bolhas ou trincas em sua extensão. Nos filmes das amostras de biocompósitos em que foi incorporada a celulose (20-B, C, D) é perceptível o aumento da quantidade de fibras na superfície de acordo com as diferentes formulações.

Pode-se notar uma distribuição adequada dos reforços em função do método de mistura, mas também se percebe regiões vazias e alguns aglomerados de fibras pela matriz. Com o aumento da quantidade de fibras também pode ocorrer da matriz não conseguir envolver todo o reforço. Estas características são muito importantes no

preparo de materiais compósitos, pois acabam tornando o filme mais suscetível à defeitos (EDHIREJ *et al.*, 2017).

Portanto, estes indícios acabam influenciando diretamente nas propriedades mecânicas destes materiais, indo de encontro com os resultados de resistência à tração em que a adição de fibras de celulose acabou não influenciando no desempenho do filme.

Resultados como este também foram observados por Gomes *et al.* (2019) em biocompósitos de amido de milho com fibra de coco, ao aumentar as concentrações do reforço, foi encontrado grande quantidade de aglomerados e vazios. No entanto, estes problemas e melhoramento de propriedades mecânicas puderam ser sanados com a adição de cera de carnaúba.

### 6.2.7 Fitotoxicidade

Vários são os questionamentos sobre os polímeros biodegradáveis e sua ação no meio ambiente. No entanto, ainda se encontra poucos estudos a respeito da toxicidade de materiais quando descartados na natureza. Na Figura 21 estão apresentadas as mudas de alface plantadas juntamente com os filmes após 20 dias. Foi possível perceber que todas as sementes plantadas germinaram, portanto, a germinação foi 100% e a adição dos filmes não influenciou neste quesito.



Figura 21 - Mudanças de alface após 20 dias do plantio.  
Fonte: Próprio autor.

Ainda foi avaliado o crescimento das plântulas de alface, com e sem a presença dos filmes, através das médias da massa fresca e massa seca das mudas ao fim dos 20 dias, os dados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados do massa fresca e seca das plântulas. \*(ANOVA,  $p=0,7361$  para massa seca e  $p=0,6554$  para massa seca).

<b>Amostras</b>	<b>Massa fresca (g)</b>	<b>Massa seca (g)</b>
<b>Controle</b>	0,11 <sup>a</sup>	0,017 <sup>a</sup>
<b>Amido Puro</b>	0,12 <sup>a</sup>	0,017 <sup>a</sup>
<b>5% Celulose</b>	0,13 <sup>a</sup>	0,020 <sup>a</sup>
<b>10% Celulose</b>	0,11 <sup>a</sup>	0,017 <sup>a</sup>
<b>15% Celulose</b>	0,16 <sup>a</sup>	0,030 <sup>a</sup>

Fonte: Próprio autor.

Após análise estatística notou-se que não houve diferenças significativas no desenvolvimento das mudas nos diferentes tratamentos. Desse modo, o acréscimo dos filmes ao solo não dificulta a germinação de sementes e nem o desenvolvimento das plântulas de alface. Os mesmos resultados foram encontrados por Rudeekit *et al.* (2012) e Castillo *et al.*, (2019) ao testarem a ecotoxicidade de blendas de PLA/Amido e PLA/PBAT/Amido, respectivamente, salientando assim que os materiais eram seguros para o ecossistema.

Conseqüentemente, com a degradação de polímeros biodegradáveis tem-se como resultado um conteúdo rico em carbono, regressando ao solo com efeitos benéficos. Estes materiais são interessantes e alternativos para diversas aplicações como em sacos para mudas, pois as mesmas podem ser plantadas no solo sem a necessidade de remover a embalagem, oferecendo comodidade em grandes plantios e também maior segurança para as raízes das plantas (BILCK *et al.*, 2014).

### **6.2.8 Ensaio de biodegradabilidade - Perda de massa**

A perda de massa é um método muito comum utilizado para determinar alterações causadas pelo ataque microbiano nos polímeros biodegradáveis. Para

isso fez-se a média das cinco amostras de cada formulação com o passar dos dias 0, 15, 30, 45 e 60, os resultados estão apresentados na Tabela 9. A partir destes resultados foi possível calcular a porcentagem de perda de massa após cada ensaio simulado (Tabela 10).

Tabela 9 - Média em gramas dos pesos das amostras com o passar do tempo.

<b>Amostra</b>	<b>Dia 0</b>	<b>Dia 15</b>	<b>Dia 30</b>	<b>Dia 45</b>	<b>Dia 60</b>
<b>Amido Puro</b>	0,40072	0,26466	0,06348	0,02412	0
<b>5% Celulose</b>	0,40872	0,20674	0,06154	0,02266	0
<b>10% Celulose</b>	0,41444	0,19846	0,0639	0,02154	0
<b>15% Celulose</b>	0,45746	0,15206	0,05622	0,01786	0

Fonte: Próprio autor.

Tabela 10 - Porcentagem de perda de massa.

<b>Amostra</b>	<b>Dia 15</b>	<b>Dia 30</b>	<b>Dia 45</b>	<b>Dia 60</b>
<b>Amido Puro</b>	33,9%	84,1%	93,9%	100%
<b>5% Celulose</b>	49,4%	84,9%	94,4%	100%
<b>10% Celulose</b>	52,1%	84,6%	94,8%	100%
<b>15% Celulose</b>	66,7%	87,7%	96,1%	100%

Fonte: Próprio autor.

Já nos primeiros 15 dias de contato das amostras com o solo percebe-se que houve perdas significativas de massa em todos os grupos de amostras de praticamente 50% da massa dos corpos de prova. Nota-se também que as perdas foram maiores nos compósitos do que no filme de amido puro e quanto maior a porcentagem de celulose, maior a perda de massa.

Com o passar dos dias, em 30 e 45 dias, a taxa de degradação se torna mais uniforme, no entanto, o compósito com maior porcentagem de celulose ainda se

degrada mais rapidamente. Este fato pode ser explicado devido ao desprendimento das fibras o que concede a entrada de água e microorganismos na matriz, ocasionando maior taxa de degradação (IBRAHIM *et al.*, 2019). Batista *et al.* (2010), sugere que a adição de fibras resulta em pequenas lacunas na interface da matriz/reforço, sendo mais fácil a infiltração de água e microorganismos resultando em rápida biodegradação. Ao fim dos 60 dias não foram mais encontrados quaisquer resíduos, indicando que todos os filmes foram completamente degradados.

Varghese *et al.* (2020), verificou que utilizando cargas de 15 ou 20% de fibras de samaúma, a perda de massa foi de 7 a 10 vezes maior que dos filmes puros de PHBV, após 45 dias de ensaio de biodegradação em solo. Ibrahim *et al.* (2019), ao desenvolver filmes de amido de milho com reforço de fibras de casca de milho, observou comportamento semelhante. Após 8 dias de ensaio em solo, o filme controle teve perda de 47,1% de peso em compensação o compósito com maior teor de reforço (8% de fibra) apresentou maior perda de peso correspondente a 73,2% e sugere que isto ocorre pois na presença de umidade e temperatura, os microorganismos demonstram preferência por atacar as fibras.

### **6.2.9 Ensaio de biodegradabilidade - Aspecto visual**

Foram observadas as mudanças nos filmes puros e filmes dos compósitos antes e depois do ensaio de biodegradação no período de 0, 15, 30 e 45 dias, as imagens estão mostradas na Figura 22.

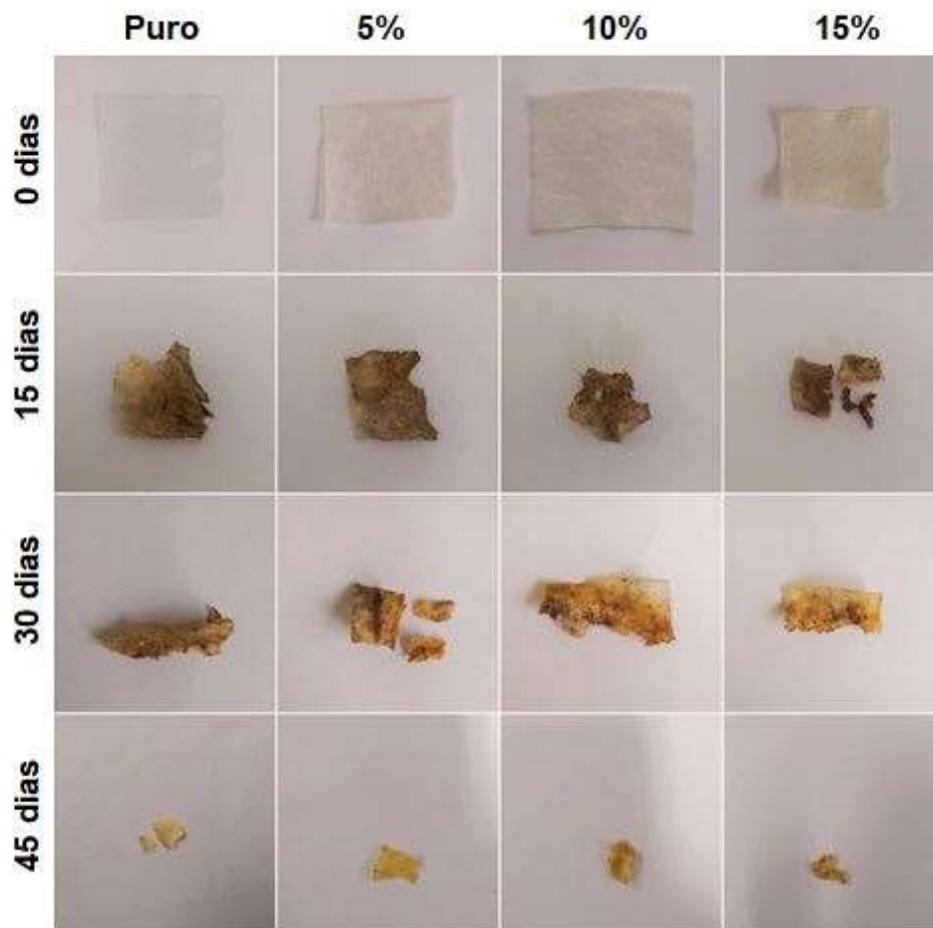


Figura 22 - Aspecto visual das amostras após ensaio de biodegradação.  
Fonte: Próprio autor.

Nota-se que nos primeiros 15 dias as diferenças são mais visíveis, pois o filme de amido puro ainda apresentava regiões um pouco mais claras, com menor taxa de biodegradação. Enquanto que, para os filmes com adição de celulose já não foi possível observar regiões livres de microrganismos. Com o passar dos dias os filmes se tornam mais frágeis e ocorre a ruptura dos mesmos, além das mudanças de cor ser perceptível. Corroborando com a análise de perda de massa, houve maiores indícios da degradação ser mais acelerada nos filmes com celulose (GULATI *et al.*, 2019).

Luchese *et al.* (2018) ao trabalhar com biodegradação de diversos amidos, verificou resultados semelhantes aos descritos acima para o amido de milho. Os filmes apresentaram grandes alterações na sua tonalidade e integridade, indicando o início da biodegradação após 20 dias de ensaio e após 56 dias se mostraram quase que completamente degradados.

Também foi feita a exposição dos filmes ao ambiente externo (Figura 23), onde os filmes foram acondicionados sobre a bancada com condições normais do meio (umidade, luz, variações de temperatura). Este experimento foi realizado para fins de comparação, procurando averiguar se os filmes se degradariam ao serem utilizados ou expostos por um período de tempo de 60 dias.

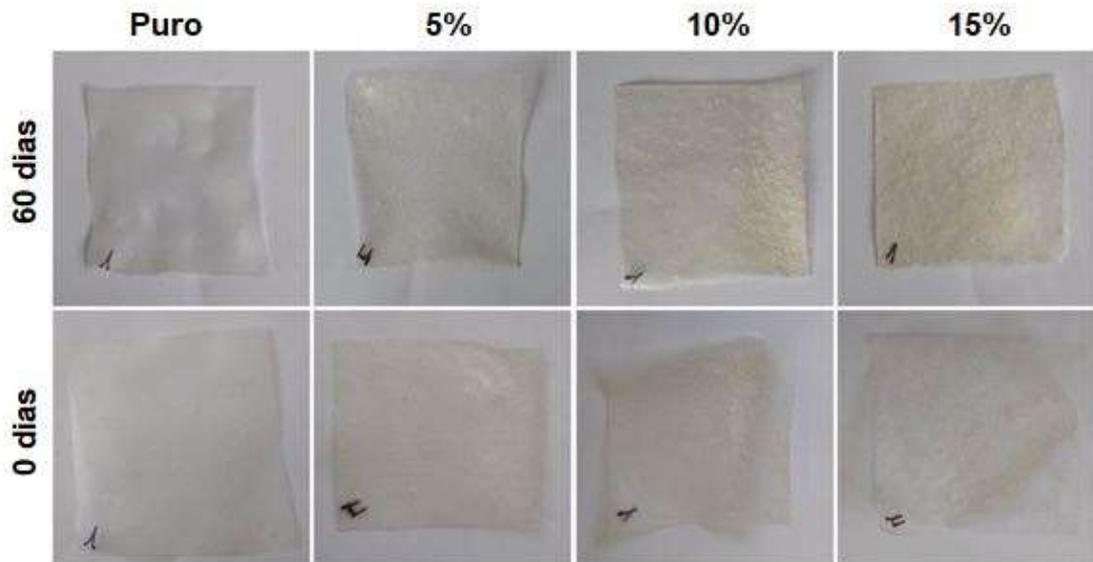


Figura 23 - Aspecto visual das amostras de 0 e 60 dias após a exposição em meio externo.  
Fonte: Próprio autor.

A inspeção visual realizada através de fotografias no dia 0 e no dia 60 mostrou que ao final do período de exposição não houve mudanças aparentes na superfície das amostras, sem indicar qualquer fungo ou mudança de cor. Estas circunstâncias indicam que os filmes são resistentes às condições naturais e não se degradam tão facilmente como em solo na presença de microorganismos.

#### 6.2.10 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Na Figura 24 encontram-se os espectros de todas as amostras antes (0 dias) e após o ensaio de degradação (15, 30, 45 dias). É verificável que todos os espectros apresentam comportamento semelhante. Contudo, as bandas que são frequentemente encontradas para filmes de amido foram identificadas.

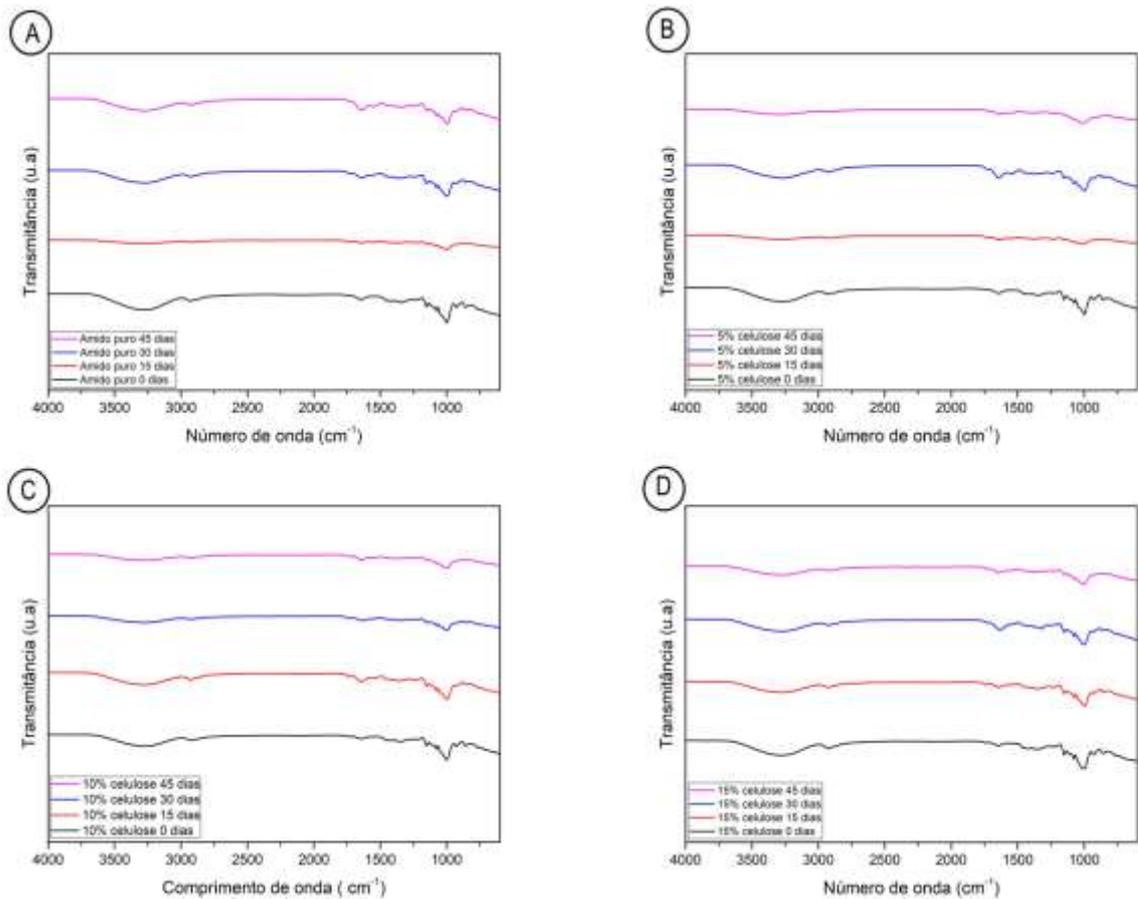


Figura 24 - Espectros de FTIR antes e após degradação dos filmes de A) Amido puro, B) Biocompósito com 5% de celulose, C) Biocompósito com 10% de celulose, D) Biocompósito com 15% de celulose.

Fonte: Próprio autor.

A análise das bandas foi feita por quatro regiões, sendo a primeira abaixo de  $1500\text{ cm}^{-1}$  em  $990$  e  $800\text{ cm}^{-1}$ , devido C–O da glicose referente à reação de piranose. Enquanto que as bandas encontradas por volta de  $1078\text{ cm}^{-1}$  e  $1001\text{ cm}^{-1}$  são associadas a deformações de grupos C–OH. A segunda região é a entre  $1500\text{ cm}^{-1}$  e  $2800\text{ cm}^{-1}$ , onde o pico em  $1665\text{ cm}^{-1}$  está de acordo com presença de partículas de água no amido, com o modo de flexão do grupo –OH. A terceira região analisada foi a partir de  $2800\text{ cm}^{-1}$  até  $3000\text{ cm}^{-1}$ , que se refere ao alongamento vibracional de C–H, já na última região acima de  $3000\text{ cm}^{-1}$ , percebe-se um pico de alta intensidade referente ao alongamento e oscilação do grupo O–H, indicando que os filmes apresentam atração pela água, devido aos grupos hidroxila (IBRAHIM *et al.*, 2019).

É possível verificar que o ensaio de degradação não provocou alterações nos espectros, uma vez que as vibrações das ligações dos grupos existem independente da biodegradação destes materiais. Em trabalhos semelhantes Torres *et al.* (2011) e

Tan *et al.* (2016), também não observaram o surgimento de novas bandas nos espectros de FTIR do amido, apenas algumas alterações na intensidade das bandas.

## 7 Considerações finais

A partir das análises de caracterização das fibras, o FTIR e DRX apontaram a redução de constituintes não celulósicos e conseqüentemente aumento da cristalinidade na celulose extraída. O TGA também evidenciou diminuição nos estágios de degradação da celulose em relação à fibra de coroa de abacaxi, reforçando a efetividade dos tratamentos químicos.

Através das caracterizações dos filmes, não foram averiguadas grandes diferenças em relação à espessura, gramatura e flexibilidade das amostras. Os biocompósitos se mostraram menos solúveis em água que o filme de amido puro, principalmente o filme reforçado com 15%, devido ao fato da celulose ser insolúvel em água e as interações entre fase dispersa e contínua. Para TPVA verificou-se apenas diferenças entre o filme puro e biocompósitos com 15% de celulose, em que foi possível verificar que esta característica está associada principalmente com a quantidade de fibras que estão sobre a superfície do filme. Já em relação a caracterização térmica através de DSC, os filmes biocompósitos não apresentaram variações significativas na temperatura de fusão e temperatura de gelatinização em relação ao filme controle de amido.

Ao analisar as propriedades mecânicas das amostras, através do módulo de elasticidade foi visto que esta propriedade aumentou significativamente em todos os biocompósitos dando destaque para o compósito com 15% de reforço, sendo importante ressaltar que mesmo ao aumentar estes valores não foi modificada a flexibilidade dos mesmos, característica importante para embalagens. Já em relação à resistência a tração não houve diferenças ao se adicionar o reforço, possivelmente em função da dispersão das fibras. O que foi compatível com as imagens de microscopia, em que quanto maior a quantidade de fibras mais ocorre a possibilidade de formar aglomerados.

Através do ensaio de fitotoxicidade, foi possível notar que o acréscimo dos filmes ao solo não influencia negativamente a germinação de sementes e nem o desenvolvimento das plântulas de alface. Para a biodegradabilidade percebeu-se que a maioria das amostras haviam perdido 50% de massa já nos primeiros 15 dias, principalmente nos biocompósitos com maiores concentrações de celulose. Ao fim do ensaio (60 dias) não foram mais encontrados quaisquer resíduos, indicando que todos os filmes foram completamente degradados. A análise de FTIR após a

degradação apontou as bandas características de filmes de amido e não apresentou alterações nos espectros após a degradação dos materiais.

Dentre os filmes desenvolvidos pode ser destacado o filme contendo 15% de celulose, pois este apresentou melhores resultados nas propriedades mecânicas, menor solubilidade e permeabilidade ao vapor de água e rápida taxa de biodegradação inicial. Sendo possível apresentar grande potencial para embalagens de única e rápida utilização como filmes para cobertura de bandeja de frutas e verduras.

O incentivo ao uso de polímeros biodegradáveis para a produção de embalagens gera alternativas a diversos problemas advindos do descarte incorreto de embalagens convencionais. Ao considerar o uso de embalagens biodegradáveis incentiva-se a maior conscientização ambiental, possibilita-se o crescimento de novos mercados, além de possibilitar e valorizar o uso de resíduos e diminuir diversos impactos ambientais.

## **8. Sugestões para trabalhos futuros**

- Desenvolver filmes com nanocristais de celulose;
- Incorporar extratos naturais no desenvolvimento de embalagem ativa;
- Testar os filmes diretamente em alimentos.

## Referências Bibliográficas

ALMEIDA, Denise; WOICIECHOWSKI, Adenise; WOSIACKI, Gilvan; PRESTES, Rosilene; PINHEIRO, Luís. Propriedades físicas, químicas e de barreira em filme formados por blenda de celulose bacteriana e fécula de batata. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.23, n.4, p. 538-546, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2013.038>. Disponível em: <https://revistapolimeros.org.br/journal/polimeros/article/doi/10.4322/polimeros.2013.038>. Acesso em: 08 jan. 2021

AZEVEDO, Viviane Machado; BORGES, Soraia Vilela.; MARCONCINI, José Manoel; YOSHIDA, Maria Irene; NETO, Alfredo Rodrigues Sena; PEREIRA, Tamara Coelho; PEREIRA, Camila Ferreira Gonçalves. Effect of replacement of corn starch by whey protein isolate in biodegradable film blends obtained by extrusion. *Carbohydrate Polymers*, v. 157, p. 971–980, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.046>. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861716312103?casa\\_token=ZCP1VOWciWMAAAAA:vO6f5LRzTljZAuXry\\_RE0ekVzWaq7t7UOdaQN9x5D\\_HJUQo\\_wasVGRjCQsN83yoFZ2ac3CMzuOA](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861716312103?casa_token=ZCP1VOWciWMAAAAA:vO6f5LRzTljZAuXry_RE0ekVzWaq7t7UOdaQN9x5D_HJUQo_wasVGRjCQsN83yoFZ2ac3CMzuOA). Acesso em: 24 ago. 2021

BALAJI, A. N.; NAGARAJAN, K. J. Characterization of alkali treated and untreated new cellulosic fiber from Saharan aloe vera cactus leaves. **Carbohydrate Polymers**, v.174, p. 200–208, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.065>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861717307038>. Acesso em: 25 fev. 2021

BATISTA, Katherinee; SILVA, Denise; COELHO, Luiz Antonio; PEZZIN, Sergio; PEZZIN, Ana Paula. Soil biodegradation of PHBV/peach palm particles biocomposites. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 18, n.3, p.346-354, 2010. DOI: 10.1007 / s10924-010-0238-4. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/225366742\\_Soil\\_Biodegradation\\_of\\_PHBVPeach\\_Palm\\_Particles\\_Biocomposites](https://www.researchgate.net/publication/225366742_Soil_Biodegradation_of_PHBVPeach_Palm_Particles_Biocomposites). Acesso em: 25 fev. 2021

BILCK, Ana; OLIVATO, Juliana; YAMASHITA, Fabio; SOUZA, José. Biodegradable bags for the production of plant seedlings. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.24, n.5, p. 547-553, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1589>. Disponível em: <https://www.revistapolimeros.org.br/doi/10.1590/0104-1428.1589>. Acesso em: 10 mar. 2021

BODIRLAU, Ruxanda; TEACA, Carmen; SPIRIDON, Iuliana. Influence of natural fillers on the properties of starch-based biocomposite films. **Composites Part B: Engineering**, v.44, n.1, p.575-583, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.02.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836812001953>. Acesso em: 20 nov. 2020

CAI, Ming; TAKAGI, Hitoshi; NAKAGAITO, Antonio; LI, Yan; WATERHOUSE, Geoffrey. Effect of alkali treatment on interfacial bonding in abaca fiber-reinforced

composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 90, p. 589-597, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.08.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X16302810>. Acesso em: 08 fev. 2021

CALLISTER, William D; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 817 p.

CAMPILHO, Raul DSG. **Natural Fiber Composites**. Taylor & Francis Group, 2016, 365 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b19062>. Disponível em: <https://api.taylorfrancis.com/content/books/mono/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/b19062&type=googlepdf>. Acesso em: 18 abr. 2021

CARVALHO, Janaína Alves; BIANCHI, Maria Lúcia; DA SILVA BORGES, Willian Miguel; CARVALHO, Mohana Zokot; ROSSI, Marco Aurélio; MAGALHÃES, Kassiana Teixeira. Efeito do pré-tratamento corona em materiais lignocelulósicos. **ForScience**, v.5, n.2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.29069/forscience.2017v5n2.e28>. Disponível em: <http://forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/281>. Acesso em: 08 jun. 2020

CASTILLO, Catalina; NESIC, Aleksandra; URRRA, Nestor; MALDONADO, Alvaro. Influence of thermoplasticized starch on physical-chemical properties of new biodegradable carriers intended for forest industry. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 122, p. 924–929, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.026>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018321949>. Acesso em: 14 fev. 2021

MAMANI, Diana Choquecahua; NOLE, Kristy Stefany Otero; MONTOYA, Efrén Chaparro; HUIZA, Dora Amalia Mayta; ALTA, Roxana Yesenia Pastrana; VITORINO, Hector Aguilar. Minimizing Organic Waste Generated by Pineapple Crown: A Simple Process to Obtain Cellulose for the Preparation of Recyclable Containers. **Recycling**, v.5, n.4, p. 1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/recycling5040024>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-4321/5/4/24>. Acesso em: 28 mar. 2021

COELHO, Nadjane; ALMEIDA, Yêda; VINHAS, Glória. A biodegradabilidade da blenda de Poli( $\beta$ -Hidroxibutirato-co-Valerato)/Amido Anfótero na presença de microrganismos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 270-276, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282008000300014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/mPmbdy9jZn9j6Z6dLJyzVff/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 jan. 2021

COLLAZO-BIGLIARDI, Sofía; ORTEGA-TORO, Rodrigo; CHIRALT, Amparo. Reinforcement of thermoplastic starch films with cellulose fibres obtained from rice and coffee husks. **Journal of Renewable Materials**, v.6, n.6, p. 599-610, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32604/JRM.2018.00127>. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/tsp/jrm/2018/00000006/00000006/art00005>. Acesso em: 17 jan. 2021

COLLAZO-BIGLIARDI, Sofía; ORTEGA-TORO, Rodrigo; CHIRALT, Amparo. Improving properties of thermoplastic starch films by incorporating active extracts and cellulose fibres

isolated from rice or coffee husk. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 22, p. 1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100383>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289418304666>. Acesso em: 30 jan. 2021

CORREIA, Dayana da Silva; SANTOS, Flávia da Rocha; SOARES, Luis Henrique; CORREIA, Maria Elizabeth. Enzimas oxidativas microbianas envolvidas na biodegradação da lignocelulose: produção, características bioquímicas e importância biotecnológica. **Embrapa Agrobiologia-Documentos**, v. 284, p. 1- 40, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921259/1/DOC28411.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2020

RODRIGUES, Ana; MOREIRA, Jefferson; FILHO, Luiz de Souza; NUNES, Valéria. Vias de reciclagem dos polímeros polipropileno (PP) e poliestireno (PS): Um estudo bibliográfico. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 18, n. 3, p. 145-160, 2017. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6011020#>. Acesso em: 11 mar. 2021

DAVLETBAEVA, Ilsiya; DULMAEV, Sergey; SAZONOV, Oleg; KLINOV, Alexander; DAVLETBAEV, Ruslan; GUMEROV, Askhat. Water vapor permeable polyurethane films based on the hyperbranched aminoethers of boric acid. **RSC advances**, v.9, n.41, p. 23535-23544, 2019. DOI: 10.1039/c9ra05314j. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/ko/content/articlehtml/2019/ra/c9ra05314j>. Acesso em: 12 dez. 2020

DE MORAES, Jaqueline; MÜLLER, Carmen; LAURINDO, João. Influence of the simultaneous addition of bentonite and cellulose fibers on the mechanical and barrier properties of starch composite-films. **Food science and technology international**, v.18, n.1, p. 35-45, 2012. DOI: 10.1177 / 1082013211427622. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1082013211427622>. Acesso em: 18 dez. 2020

DIAS, Amanda; MÜLLER, Carmen; LAROTONDA, Fábio; LAURINDO, João. Mechanical and barrier properties of composite films based on rice flour and cellulose fibers. **LWT-Food Science and Technology**, v.44, n.2, p. 535-542, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.07.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643810002604>. Acesso em: 08 mar. 2021

DILKES-HOFFMAN, Leela; LANE, Joe; GRANT, Tim; PRATT, Steven; LANT, Paul; LAYCOCK, Bronwyn. Environmental impact of biodegradable food packaging when considering food waste. **Journal of cleaner production**, v.180, p. 325-334, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.169>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618301914>. Acesso em: 15 nov. 2020

EDHIREJ, Ahmed; SAPUAN, SM; JAWAID, Mohammad; ZAHARI, Nur. Cassava/sugar palm fiber reinforced cassava starch hybrid composites: Physical, thermal and structural properties. **International journal of biological macromolecules**, v. 101, p. 75-83, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.045>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813016317147>. Acesso em: 15 nov. 2020

EL HALAL, Shanise; COLUSSI, Rosana; DEON, Vinícius; PINTO, Vânia; VILLANOVA, Franciene; CARREÑO, Neftali; DIAS, Alvaro; ZAVAREZE, Elessandra. Films based on oxidized starch and cellulose from barley. **Carbohydrate polymers**, v.133, p. 644-653, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.07.024>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861715006530>. Acesso em: 19 abr. 2021

EL HALAL, Shanise; BRUNI, Graziella; DO EVANGELHO, Jarine; BIDUSKI, Bárbara; SILVA, Francine; DIAS, Alvaro; ZAVAREZE, Elessandra; LUVIELMO, Márcia. The properties of potato and cassava starch films combined with cellulose fibers and/or nanoclay. **Starch-Stärke**, v.70, n.1-2, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.201700115>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/star.201700115>. Acesso em: 14 mai. 2021

FARUK, Omar; BLEDZKI, Andrzej; FINK, Hans-Peter; SAIN, Mohini. Progress report on natural fiber reinforced composites. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 299, n.1, p. 9-26, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/mame.201300008>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mame.201300008>. Acesso em: 13 abr. 2021

FERREIRA, Filipe; PINHEIRO, Ivanei; GOUVEIA, Rubia; THIM, GP; LONA, Liliane. Functionalized cellulose nanocrystals as reinforcement in biodegradable polymer nanocomposites. **Polymer Composites**, v. 39, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/pc.24583>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pc.24583>. Acesso em: 13 abr. 2021

GAZONATO, Elisa; MAIA, Amanda; MORIS, Virgínia; PAIVA, Jane. Thermomechanical properties of corn starch based film reinforced with coffee ground waste as renewable resource. **Materials Research**, v.22, n.2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2018-0416>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mr/a/hSTCSq6NsjSznJrhPFZmksG/?format=html>. Acesso em: 03 fev. 2021

GRISA, Daniela Cristina; CAPANEMA, Luciana Xavier. **Resíduos sólidos** – BNDES. p. 415-438, 2018. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16284>. Acesso em: 26 jan. 2021

GOMES, Áleft Verlanger; GONÇALVES, Francielle Cristine; JÚNIOR, Manoel Quirino; LEITE, Ricardo Henrique; DOS SANTOS, Francisco Klebson; AROUCHA, Edna Maria. Effect of Carnauba Wax and Coconut Fiber Contents on tensile properties of corn starch-based biocomposites. **Materials Research**, v. 22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2019-0053>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mr/a/dRmR44qSLf77kFHYmd7zcdG/?lang=en>. Acesso em: 26 jan. 2021

GUIMARÃES, Isabela Costa; DOS REIS, Kelen Cristina; MENEZES, Evandro Galvão; RODRIGUES, Ariel Costa; DA SILVA, Thaís Ferreira; DE OLIVEIRA, Isadora Rebouças; BOAS, Eduardo Vilas. Cellulose microfibrillated suspension of carrots obtained by mechanical defibrillation and their application in edible starch films. **Industrial Crops and Products**, v.89, p.285-294, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.05.024>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669016303442>. Acesso em: 11 mar. 2021

GULATI, Kapil; LAL, Sohan; DIWAN, Pawan; ARORA, Sanjiv. Investigation of thermal, mechanical, morphological and optical properties of polyvinyl alcohol films reinforced with buddha coconut (*sterculia alata*) leaf fiber. **International Journal of Applied Engineering Research**, v.14, n.1, p.170-179, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/350275037\\_Investigation\\_of\\_Thermal\\_Mechanical\\_Morphological\\_and\\_Optical\\_Properties\\_of\\_Polyvinyl\\_alcohol\\_Films\\_Reinforced\\_with\\_Budha\\_Coconut\\_Sterculia\\_alata\\_Leaf\\_Fiber](https://www.researchgate.net/publication/350275037_Investigation_of_Thermal_Mechanical_Morphological_and_Optical_Properties_of_Polyvinyl_alcohol_Films_Reinforced_with_Budha_Coconut_Sterculia_alata_Leaf_Fiber). Acesso em: 11 mar. 2021

GUPTA, Vinod Kumar; CARROTT, Peter Joseph; SINGH, Randhir; CHAUDHARY, Monika; KUSHWAHA, Sarita. Cellulose: a review as natural, modified and activated carbon adsorbent. **Bioresource technology**, v. 216, p. 1066-1076, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.106>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416307659>. Acesso em: 08 dez. 2020

HAFIZULHAQ, Fadli; ABRAL, Hairul; KASIM, Anwar; ARIEF, Syukri; AFFI, Jon. Moisture absorption and opacity of starch-based biocomposites reinforced with cellulose fiber from bengkoang. **Fibers**, v.6, n.3, p. 62, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/fib6030062>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6439/6/3/62>. Acesso em: 12 mar. 2021

Halimatul, M. J., S. M. Sapuan, M. Jawaid, M. R. Ishak, and R. A. Ilyas. Water absorption and water solubility properties of sago starch biopolymer composite films filled with sugar palm particles. **Polimery**, v. 64, n. 9, p. 595- 603, 2019. doi: 10.14314/polimery.2019.9. Disponível em: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-cd3d0b24-d92c-4497-a4b3-16e4c3d7b1ec> Acesso em: 24 ago. 2021

HAMMER, Oyvind; HARPER, David; RYAN, Paul. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v.4, n.1, p. 9, 2001. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/308016429\\_Paleontological\\_Statistics\\_Software\\_Package\\_for\\_education\\_and\\_data\\_analsis](https://www.researchgate.net/publication/308016429_Paleontological_Statistics_Software_Package_for_education_and_data_analsis). Acesso em: 10 fev. 2021

HORVAT, Petra; KRZAN, Andrej. Certification of bioplastics. **Plastice, Innovative value chain development for sustainable plastici in Central Europe**, 2012. Disponível em: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/ueber-uns/nationale-infostelle-nachhaltige-kunststoffe/certification-of-bioplastics.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2021

IAC, 2019. **Abacaxi IAC Gomo-de-mel**. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/cultivares/inicio/Folders/Abacaxi/cIACGomo-de-Mel.htm>. Acesso em: 10 ago. 2020

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, v.30, n.9, p.7-8, 2018. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/8/lspa\\_prog\\_2017\\_dez\\_supl.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/8/lspa_prog_2017_dez_supl.pdf). Acesso em: 10 ago. 2020

IBRAHIM, Mohamed; SAPUAN, Mohd; ZAINUDIN, Edi Syams; ZUHRI, Mohd Yusoff. Potential of using multiscale corn husk fiber as reinforcing filler in cornstarch-based biocomposites. **International journal of biological macromolecules**, v.139, p.596-604, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813019339157#>. Acesso em: 13 jan. 2021

IEWKITTAYAKORN, Jutarut; KHUNTHONGKAEW, Piyaporn; WONGNOIPLA, Yutthawee; KAEWTATIP, Kaewta; SUYBANGDUM, Panumas; SOPAJARN, Arrisa. Biodegradable plates made of pineapple leaf pulp with biocoatings to improve water resistance. **Journal of Materials Research and Technology**, v.9, n.3, p.5056-5066, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785419322471>. Acesso em: 16 mar. 2021

KUMAR, Annamalai Pratheep; SINGH, Raj Pal. Biocomposites of cellulose reinforced starch: Improvement of properties by photo-induced crosslinking. **Bioresource Technology**, v.99, n.18, p. 8803-8809, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.04.045>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852408003660>. Acesso em: 13 jun. 2021

LANDIM, Ana Paula; BERNARDO, Cristiany Oliveira; MARTINS, Inayara Beatriz; FRANCISCO, Michele Rodrigues; SANTOS, Monique Barreto; DE MELO, Nathália Ramos. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.26, p. 82-92, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1897>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/Mnh695j5cVys99xsSSx54WM/?lang=pt>. Acesso em: 07 dez. 2020

LIU, Yucheng; XIE, Jun; WU, Na; MA, Yunhai; MENON, Carlo; TONG, Jin. Characterization of natural cellulose fiber from corn stalk waste subjected to different surface treatments. **Cellulose**, v.26, n.8, p. 4707-4719, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02429-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-019-02429-6>. Acesso em: 06 mar. 2021

LUCHESE, Cláudia Leites; BENELLI, Patrícia; SPADA, Jordana Corralo; TESSARO, Isabel Cristina. Impact of the starch source on the physicochemical properties and biodegradability of different starch-based films. **Journal of Applied Polymer Science**, v.135, n.33, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.46564>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.46564>. Acesso em: 06 jan. 2021

MAJID, Ishrat; THAKUR, Mamta; NANDA, Vikas. Innovative and safe packaging technologies for food and beverages: updated Review. **In Innovations in Technologies for Fermented Food and Beverage Industries**, p. 257-287, Springer, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-74820-7\_13. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-74820-7\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-74820-7_13). Acesso em: 18 dez. 2020

MALI, Suzana; GROSSMANN, Maria Vitória. Effects of inhame film movies on storability and quality of fresh morangos (*Fragaria ananassa*). **Journal of agricultural and food**

**chemistry**, v.51, n.24, p.7005-7011, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf034241c>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf034241c>. Acesso em: 13 dez. 2020

MALI, Suzana; GROSSMANN, Maria Vitória; YAMASHITA, Fabio. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: ciências agrárias**, v. 31, n. 1, p.137-156, 2010. DOI: 10.5433 / 1679-0359.2010v31n1p137. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/276228133\\_Filmes\\_de\\_amido\\_Producao\\_propriedades\\_e\\_potencial\\_de\\_utilizacao](https://www.researchgate.net/publication/276228133_Filmes_de_amido_Producao_propriedades_e_potencial_de_utilizacao). Acesso em: 14 nov. 2020

MARIÑO, Mayara; REZENDE, Camila; TASIC, Ljubica. A multistep mild process for preparation of nanocellulose from orange bagasse. **Cellulose**, v.25, n.10, p. 5739-5750, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1977-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-018-1977-y#citeas>. Acesso em: 26 out. 2020

MARTINS, Mariana; DAGOSTIN, João Luiz; FRANCO, Talita; DE MUÑIZ, Graciela; MASSON, Maria Lucia. Application of Cellulose Nanofibrils Isolated from an Agroindustrial Residue of Peach Palm in Cassava Starch Films. **Food Biophysics**, v.15, p.323-334, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11483-020-09626-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11483-020-09626-y>. Acesso em: 17 nov. 2020

Menchaca-Rivera, Alejandro, Gonzalez-Reyna, Marlen Alexis, Avilés-Arellano, Luz, Fernández-Loyola, R., Morales-Sánchez, E., Pérez Robles, Juan Francisco. Determination of optical properties of a corn starch biofilm. **Journal of Applied Polymer Science**, v.136, n.9, p. 47111, 2019. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.47111?casa\\_token=3wbNxDN8i\\_sAAAAA%3AfF4dcr3D\\_Q4wa8eQh0bqjrwF1f1KIRB60kh5euPjdDoHaMM-2zvMVc-TA0Piz61ifllefMOLL7UaCKm5D](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.47111?casa_token=3wbNxDN8i_sAAAAA%3AfF4dcr3D_Q4wa8eQh0bqjrwF1f1KIRB60kh5euPjdDoHaMM-2zvMVc-TA0Piz61ifllefMOLL7UaCKm5D). Acesso em: 11 fev. 2021.

MITTAL, Mohit; CHAUDHARY, Rajiv. Experimental study on the water absorption and surface characteristics of alkali treated pineapple leaf fiber and coconut husk fiber. **International Journal of Applied Engineering Research**, v.13, n.15, p.12237-12243, 2018. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/326988853\\_Experimental\\_Study\\_on\\_the\\_Water\\_Absorption\\_and\\_Surface\\_Characteristics\\_of\\_Alkali\\_Treated\\_Pineapple\\_Leaf\\_Fibre\\_and\\_Coconut\\_Husk\\_Fibre](https://www.researchgate.net/publication/326988853_Experimental_Study_on_the_Water_Absorption_and_Surface_Characteristics_of_Alkali_Treated_Pineapple_Leaf_Fibre_and_Coconut_Husk_Fibre). Acesso em: 08 jan. 2021

MONTERO, Belén; RICO, Maite; RODRÍGUEZ-LLAMAZARES, Saddys; BARRAL, Luis; BOUZA, Rebeca. Effect of nanocellulose as a filler on biodegradable thermoplastic starch films from tuber, cereal and legume. **Carbohydrate polymers**, v. 157, p. 1094-1104, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.073>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861716312449>. Acesso em: 19 jan. 2021

MUTMAINNA, Inayatul; TAHIR, Dahlang; GARESO, Paulus Lobo; ILYAS, Suhwardi; SALUDUNG, A. Improving degradation ability of composite starch/chitosan by additional pineapple leaf microfibers for food packaging applications. **Materials Science and Engineering**, v.593, N. 1, p. 012024, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/593/1/012024>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/593/1/012024/meta>. Acesso em: 11 dez. 2020

NELSON, David; COX, Michael. **Lehninger Principles of Biochemistry**. V. 23, 4ª edição, W. H. Freeman, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/cbf.1216>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cbf.1216>. Acesso em: 23 jan. 2021

NETO, Flaminio Levy; PARDINI, Luiz Claudio. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**, 2 ed., São Paulo, Edgard Blücher, 2016. 416 p.

NETO, Biano Alvez; JUNIOR, Celso Carlino; SILVA, Erik Galvão; FRANCO, Marcelo; REIS, Nadabe; BONOMO, Renata Cristina; ALMEIDA, Paulo; PONTES, Karen Valverde. Biodegradable thermoplastic starch of peach palm (*Bactris gasipaes kunth*) fruit: Production and characterisation. **International journal of food properties**, v.20, n.3, p. 2429-2440, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1372472>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10942912.2017.1372472?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 13 fev. 2021

NOOR ZULAIKA, Salleh; ONG, Hui Lin; ZAINUDDIN, Firuz. Swelling, Tensile and Thermal Behaviors of Citric Acid Crosslinked Tapioca Starch/Cellulose Biocomposite Films. **Materials Science Forum**, v 1010, p. 514-519, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1010.514>. Disponível em: <https://www.scientific.net/MSF.1010.514>. Acesso em: 19 jan. 2021

NORDIN, Norhazirah; OTHMAN, Siti Hajar; RASHID, Suraya Abdul; BASHA, Roseliza Kadir. Effects of glycerol and thymol on physical, mechanical, and thermal properties of corn starch films. **Food Hydrocolloids**, v. 106, p. 1-8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105884>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X19328322>. Acesso em: 01 marc. 2021

OLIVEIRA, Jean Paulo; BRUNI, Graziella Pinheiro; LIMA, Karina Oliveira; EL HALAL, Shanise Lisie; DA ROSA, Gabriela; DIAS, Alvaro; ZAVAREZE, Elessandra. Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel. **Food chemistry**, 221, 153-160, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.048>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881461631665X>. Acesso em: 01 mar. 2021

DE OLIVEIRA, Rosiane Mendes; MATOS, Patricia Francisca. A abacaxicultura em Canápolis (MG) e as formas de acesso a terra para produção. **Espaço em Revista**, v.20, n.1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5216/er.v20i1.50621>. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/view/50621>. Acesso em: 09 fev. 2021

OUN, Ahmed; RHIM, Jong-Whan. Isolation of cellulose nanocrystals from grain straws and their use for the preparation of carboxymethyl cellulose-based nanocomposite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 150, p. 187–200, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861716305331>. Acesso em: 13 dez. 2020

PATHAK, Vinay Mohan. Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach. **Bioresources and Bioprocessing**, v.4, n.1, p.15, 2017. DOI:

<https://doi.org/10.1186/s40643-017-0145-9>. Disponível em:  
<https://link.springer.com/article/10.1186/s40643-017-0145-9>. Acesso em: 24 nov. 2021

PISCHEDDA, Alessandro; TOSIN, Maurizio; DEGLI-INNOCENTI, Francesco. Biodegradation of plastics in soil: The effect of temperature. **Polymer Degradation and Stability**, v. 170, p. 1-7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.109017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391019303453>. Acesso em: 13 jun. 2021

PEGO, Matheus Felipe; BIANCHI, Maria Lúcia; YASUMURA, Patrícia Kaji. Nanocellulose reinforcement in paper produced from fiber blending. **Wood Science and Technology**, v.54, n.6, p. 1587-1603, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01226-w>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00226-020-01226-w>. Acesso em: 11 jan. 2021

PEREIRA, Paulo Henrique; ORNAGHI, Heitor; ARANTES, Valdeir; CIOFFI, Maria Odila. Effect of chemical treatment of pineapple crown fiber in the production, chemical composition, crystalline structure, thermal stability and thermal degradation kinetic properties of cellulosic materials. **Carbohydrate Research**, 108227, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2020.108227>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000862152030598X>. Acesso em: 13 fev. 2021

PRADO, Karen; SPINACÉ, Márcia. Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from pineapple crown waste and their potential uses. **International journal of biological macromolecules**, v. 122, p. 410-416, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.187>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014181301833976X>. Acesso em: 21 fev. 2021

RUDEEKIT, Yositar; SIRIYOTA, Pongsaks; INTARAKSA, Parichai; CHAIWUTTHINAN, Phasawat; TAJAN, Monchait; LEEJARKPAI, Thanawadee. Compostability and Ecotoxicity of Poly(lactic acid) and Starch Blends. **Advanced Materials Research**, v. 506, p. 323–326, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.506.323>. Disponível em: <https://www.scientific.net/AMR.506.323>. Acesso em: 30 jan. 2021

SATHISHKUMAR, Palanisamy; NAVANEETHAKRISHNAN, Palanisamy; SHANKAR, Subramaniam; RAJASEKAR, R. Characterization of new cellulose sansevieria ehrenbergii fibers for polymer composites. **Composite Interfaces**, v.20, n.8, p. 575-593, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1080/15685543.2013.816652>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15685543.2013.816652>. Acesso em: 07 jan. 2021

SCHMIDT, Vivian Consuelo; PORTO, Luismar Marques; LAURINDO, João Borges; MENEGALLI, Florência Cecília. Water vapor barrier and mechanical properties of starch films containing stearic acid. **Industrial Crops and Products**, v.41, n. 2013, p. 227– 234, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.038>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669012002282>. Acesso em: 22 fev. 2021

SEGAL, Leon; CREELY, Joseph; MARTIN JR, A. E.; CONRAD, Carl. Na empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the x- ray diffractometer.

**Textile research journal**, v. 29, n.10, p. 786-794, 1959. DOI:

<https://doi.org/10.1177/004051755902901003>. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/004051755902901003>. Acesso em: 11 out. 2020

SENTHAMARAIKANNAN, P.; KATHIRESAN, Marimuthu. Characterization of raw and alkali treated new natural cellulosic fiber from *Coccinia grandis*. L. **Carbohydrate Polymers**,

v.186, p. 332-343, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.072>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861718300900>. Acesso em: 01 mar. 2021

SENTHAMARAIKANNAN, P.; SARAVANAKUMAR, Sankaranarayanan; SANJAY, Mavinkere Rangappa; JAWAID, Mohammad; SIENGCHIN, Suchart. Physico-chemical and thermal properties of untreated and treated *Acacia planifrons* bark fibers for composite reinforcement. **Materials Letters**, v. 240, p. 221-224, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.01.024>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167577X19300564>. Acesso em: 08 nov. 2020

SILVA, Jânia; NASCIMENTO, Tamara; COSTA, Larrisa; PEREIRA, Fabiano; MACHADO, Bruna; GOMES, Gleice; ASSIS, Denilson; DRUZIAN, Janice. Effect of Source and Interaction with Nanocellulose Cassava Starch, Glycerol and the Properties of Films Bionanocomposites. **Materials Today: Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 200–207, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.04.022>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315000231> Acesso em: 23 ago. 2021.

SILVÉRIO, Hudson Alves; NETO, Wilson Pires; DANTAS, Noélio Oliveira; PASQUINI, Daniel. Extraction and characterization of cellulose nanocrystals from corncob for application as reinforcing agent in nanocomposites. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 427-436, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.10.014>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669012005663>. Acesso em: 27 fev. 2021

DE SOUZA, Carolina Oliveira; SILVA, Luciana Tosta; DRUZIAN, Janice Izabel. Estudo comparativo da caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca contendo polpas de manga e de acerola. **Química Nova**, v.35, n.2, p. 262-267, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000200006>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/zhBDPFL5HbCGxgtz3zzGDGd/?lang=pt>. Acesso em: 14 fev. 2021

SRINIVASA, Ponnachanna Chengappa; RAMESH, Mysore; KUMAR, Koneripatti; THARANATHAN, Rudrapatnam Narayanaswamy. Properties and sorption studies of chitosan–polyvinyl alcohol blend films. **Carbohydrate Polymers**, v.5, n.4, p. 431-438, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(03\)00105-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(03)00105-X). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486170300105X>. Acesso em: 18 marc. 2021

SYAFRI, Edi; KASIM, Anwar; ABRAL, Hairul; SULUNGBUDI, Grace; SANJAY, Mavinkere Rangappa; SARI, Nasmi Herlina. Synthesis and characterization of cellulose nanofibers (CNF) ramie reinforced cassava starch hybrid composites. **International journal of biological macromolecules**, v. 120, p. 578-586, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.134>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018324206>. Acesso em: 26 fev. 2021

TAN, Zhijian; YI, Yongjian; WANG, Hongying; ZHOU, Wanlai; YANG, Yuanru; WANG, Chaoyun. Physical and degradable properties of mulching films prepared from natural fibers and biodegradable polymers. **Applied Sciences**, v.6, n.5, p.147, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/app6050147>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/6/5/147>. Acesso em: 24 fev. 2021

TELES, Valérya; ROLDI, Mariana; LUZ, Sandra; SANTOS, Wellington; ANDREANI, Larissa; VALADARES, Leonardo. Obtaining plasticized starch and microfibrillated cellulose from oil palm empty fruit bunches: preparation and properties of the pure materials and their composites. **BioResources** v.16, n.2, p. 3746-3759, 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1131171/1/Obtaining-plasticized-starch-and.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021

TORRES, Fernando; TRONCOSO, Omar; TORRES, Claudia; DÍAZ, Diego; AMAYA, Evelin. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.48, n.4, p. 603-606, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813011000493>. Acesso em: 04 dez. 2020

TRINETTA, Valentina. Biodegradable Packaging. **Reference Module in Food Science**, p. 2-4, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03351-5>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965033515?via%3Dihub>. Acesso em: 19 abr. 2021

VARGHESE, Sandhya Alice; PULIKKALPARAMBIL, Harikrishnan; SANJAY, Mavinkere Rangappa; SIENGCHIN, Suchart; PARAMESWARANPILLAI, Jyotishkumar. Novel biodegradable polymer films based on poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and Ceiba pentandra natural fibers for packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 25, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100538>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214289420300375>. Acesso em: 15 jan. 2021

VINAYAKA, D. L.; GUNA, Vijay Kumar; MADHAVI, D.; ARPITHA, M.; REDDY, Narendra. Ricinus communis plant residues as a source for natural cellulose fibers potentially exploitable in polymer composites. **Industrial Crops and Products**, v. 100, p.126-131, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092666901730122X>. Acesso em: 14 dez. 2020

WALLIS, Graham; WEIL, Daniel; MADI, Luis. **Brasil pack trends 2020**, 1ª edição – Campinas: ITAL, 2012. Disponível em:

<http://ital.agricultura.sp.gov.br/brasilpacktrends/br/files/assets/basic-html/page11.html>. Acesso em: 14 fev. 2021

WITTAYA, Thawien. Microcomposites of rice starch film reinforced with microcrystalline cellulose from palm pressed fiber. **International Food Research Journal**, v.16, n.4, p. 493-500, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/285712101\\_Microcomposites\\_of\\_rice\\_starch\\_film\\_reinforced\\_with\\_microcrystalline\\_cellulose\\_from\\_palm\\_pressed\\_fiber](https://www.researchgate.net/publication/285712101_Microcomposites_of_rice_starch_film_reinforced_with_microcrystalline_cellulose_from_palm_pressed_fiber). Acesso em: 29 mar. 2021

WRÓBLEWSKA-KREPSZTUL, Jolanta; RYDZKOWSKI, Tomasz; BOROWSKI, Gabriel; SZCZYPIŃSKI, Mieczyslaw; KLEPKA, Tomasz; THAKUR, Vijay Kumar. Recent progress in biodegradable polymers and nanocomposite-based packaging materials for sustainable environment. **International Journal of Polymer Analysis and Characterization**, v.23, n.4, p. 383-395, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/1023666X.2018.1455382>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1023666X.2018.1455382>. Acesso em: 26 jan. 2021

WWF - World Wide Fund for Nature. **Solucionar a poluição plástica: transparência e responsabilização**. Relatório, p. 1-50, 2019. Disponível em: [https://jornalismosocioambiental.files.wordpress.com/2019/03/plastic\\_report\\_02-2019.pdf](https://jornalismosocioambiental.files.wordpress.com/2019/03/plastic_report_02-2019.pdf). Acesso em: 14 jun. 2020

ZHANG, Fan; YUTING, Zhao; DANDAN, Wang; MENGQIN, Yan; ZHANG, Jing; ZHANG, Pengyan; DING, Tonggui; CHEN, Lei; CHEN, Chao. Current technologies for plastic waste treatment: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 124523, p. 1-105, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124523>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620345674>. Acesso em: 02 fev. 2021