

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

AMIDOS DE FONTES NÃO CONVENCIONAIS E SUA APLICAÇÃO EM FILMES
BIODEGRADÁVEIS: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES

RUANDRA KAIENNE DA SILVA LARANJEIRA

MANAUS

2021

RUANDRA KAIENNE DA SILVA LARANJEIRA

**AMIDOS DE FONTES NÃO CONVENCIONAIS E SUA APLICAÇÃO EM FILMES
BIODEGRADÁVEIS: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia e materiais, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Engenharia e materiais.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix

MANAUS

2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L318a Laranjeira, Ruandra Kaienne da Silva
Amidos de fontes não convencionais e sua aplicação em filmes biodegradáveis: fundamentos e aplicações / Ruandra Kaienne da Silva Laranjeira . 2021
62 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Pedro Henrique Campelo Felix
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Amidos. 2. Biofilmes. 3. Filmes de amido. 4. Amidos não convencionais. I. Felix, Pedro Henrique Campelo. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais



UFAM

Ata de Defesa Pública da Dissertação de Mestrado da discente **RUANDRA KAIENNE DA SILVA LARANJEIRA**, do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, realizada no dia 20 de janeiro de 2021.

Às 09h30min do dia 20 de janeiro de 2021, em ambiente virtual, foi realizada a Defesa Pública de Dissertação de Mestrado da discente **RUANDRA KAIENNE DA SILVA LARANJEIRA**, intitulada *"Amigos de fontes não convencionais e sua aplicação em filmes biodegradáveis: fundamentos e aplicações"*, como parte final de seu trabalho para a obtenção de título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. A Banca Examinadora constituiu-se dos seguintes membros titulares: Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix (Orientador e Presidente - PPGCEM), Prof. Dr. Bruno Nicolau Paulino (FCF/UFAM) e Profa. Dra. Jaqueline de Araújo Bezerra (Membro Externo - IFAM). Após a apresentação do trabalho, os examinadores fizeram as observações concernentes. Todas as sugestões da Banca Examinadora serão consideradas pela discente ao preparar a versão final de seu trabalho escrito. Em seguida, a Banca Examinadora reuniu-se e concedeu o conceito **APROVADA**. Coordenação da Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, em Manaus, 20 de janeiro de 2021.

Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix (Orientador e Presidente)
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - Universidade Federal do Amazonas (PPGCEM/UFAM)

Prof. Dr. Bruno Nicolau Paulino
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Profa. Dra. Jaqueline de Araújo Bezerra
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

FOLHA DE APROVAÇÃO

RUANDRA KAIENNE DA SILVA LARANJEIRA

AMIDOS DE FONTES NÃO CONVENCIONAIS E SUA APLICAÇÃO EM FILMES BIODEGRADÁVEIS: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de materiais, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Engenharia e materiais.

Aprovada em ____/____/____

Prof. Dr. Pedro Henrique Campelo Felix (Orientador)
Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia e Materiais

Prof. Dr. Bruno Nicolau Paulino
Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal do Amazonas

Profa. Dra. Jaqueline de Araújo Bezerra
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM/CMC

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde e sabedoria para seguir sempre em frente. Obrigada por ser a minha força e o meu guia em todos os momentos. A ti, Senhor, toda honra e toda a glória.

Aos meus pais, Elizeu e Lionete, que nunca mediram esforços para me ensinar o caminho do bem, e sempre me apoiaram em todas as etapas da minha vida. Sem vocês, eu não chegaria até aqui. Muito obrigada por tudo! O amor que sinto por vocês é incondicional. À minha família, sinônimo de amor e união. Obrigada por acreditar no meu sonho e sempre me motivar a seguir em frente. É muito bom saber que posso contar com vocês em todos os momentos. Amo vocês!

Ao professor que me estendeu a mão quando eu mais precisei, não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Professor Dr. Pedro Campelo, por toda a paciência, empenho e sentido prático com que sempre me orientou neste trabalho e em todos aqueles que realizei durante os seminários do mestrado. Muito obrigada por me ter corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar.

Ao meu namorado por ter caminhado ao meu lado, pela sua paciência, compreensão e ajuda prestada durante a elaboração da presente qualificação especialmente por apresentar sempre um sorriso, quando sacrificava os dias, as noites, os fins-de-semana e os feriados em prol da realização deste estudo.

A todos os amigos e colegas, que de uma forma direta ou indireta, contribuíram ou auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos menos fáceis. Para não correr o risco de não enumerar algum não vou identificar ninguém, aqueles a quem este agradecimento se dirige sabê-lo-ão, desde já os meus agradecimentos.

Enfim, quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de um modo ou de outro, tornaram possível a realização da presente qualificação. A todos o meu sincero e profundo,

Muito obrigada!

*Façamos da interrupção um caminho
novo. Da queda um passo de dança, do
medo uma escada, do sonho uma ponte,
da procura um encontro!*

Fernando Sabino

RESUMO

Atualmente, a busca de estratégias para vencer os males que afetam o meio ambiente tem se intensificado, principalmente a demanda por materiais biodegradáveis e renováveis para aplicações em embalagens, embora não tenha alcançado o desejado. Nesse contexto, o desempenho de filmes biodegradáveis é discutido nesta revisão, com um foco particular nos filmes de amido não-convencionais, pois apresenta uma grande alternativa para a substituição dos polímeros não biodegradáveis derivados de petróleo, muito utilizados no dia a dia, em razão do baixo custo e por apresentar ótimas propriedades mecânicas. Além disso, a gama de fontes de amido permite que esse material seja, abundantemente, explorado. Pesquisas sobre os filmes biodegradáveis apontam para a flexibilidade, a visibilidade e a rápida decomposição desses produtos no ambiente, além de boas propriedades físico-químicas, tornando o filme de amido promissor para diversas aplicações, inclusive em embalagem de alimentos. Algumas das limitações geradas pelo uso do amido também leva a pesquisa a intensificar a exploração para suprir essas necessidades, seja pela incorporação de reforços ou aditivos, como extrativos, óleos essenciais, etc., ou pela modificação química e estrutural do amido.

Palavras-chave: Amido, Biofilmes, Filmes de amido, Amidos não convencionais.

ABSTRACT

Nowadays, the search for strategies to overcome the harms affecting the environment has been intensified, especially the demand for biodegradable and renewable materials for packaging applications, although this goal was not yet achieved. In this context, the performance of biodegradable films is discussed in this revision with a particular focus on non-conventional starch films, for they are considered a great alternative for the substitution of petroleum-derived non-biodegradable polymers, commonly used in everyday life due to their low cost and great mechanical properties. Moreover, the variety of starch sources allow this material to be abundantly explored. Researches regarding biodegradable films point out the flexibility, visibility and rapid decomposition of these products in the environment, besides good physical-chemical properties, making the starch film promising for many applications, including food packaging. Some of the limitations caused by the use of starch also lead research to intensify the exploration to supply these necessities, whether by the incorporation of reinforcements or additives, such as extractives, essential oils, etc., or by the chemical and structural modification of starch.

Keywords: Starch, Biofilms, Starch films, Unconventional starches.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Gráfico dos Setores de aplicação dos produtos amiláceos, nos diversos setores industriais, no ano de 2012.....	15
Figura 02: Aplicações do amido no Brasil..	16
Figura 03: Fotossíntese.	17
Figura 04: Representação da estrutura do amido de milho.	18
Figura 05: Processo de gelatinização de amido	19
Figura 06: Processo de retrogradação amido.	20
Figura 07: Estrutura molecular da Amilose.....	21
Figura 08: Estrutura molecular da Amilopectina	22
Figura 09: Forma e tamanho de grânulo de amido de diferentes fontes botânicas.	23
Figura 10: Esquema de decomposição de bioplástico.....	26
Figura 11: Filmes comestíveis.....	27
Figura 12: Filme biodegradável a base de amido pelo método casting.	30
Figura 13: Representação esquemática do processo de obtenção de filmes por casting.	31
Figura 14: Extrusora.....	32
Figura 15: Representação esquemática do processo de obtenção de filmes por Dipcoating.....	33
Figura 16: Representação esquemática do processo de obtenção de filmes por Dicoating.....	34

LISTA DE TABELA

Tabela 01: Conteúdo de amilose e amilopectina de amidos naturais.	21
Tabela 02: Características de amidos de diversas fontes vegetais	24
Tabela 03: Principais funções dos amidos nas indústrias de alimentos.	25
Tabela 04: Permeabilidade ao vapor de água de filmes biodegradáveis e sintéticos.....	37
Tabela 05: Patentes mais recentes sobre filmes de amido.....	50

LISTA DE SIGLAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ASTM** - American Society for Testing and Materials
- ATR** - Refletância total atenuada
- BP** - Bagaço de mirtilo
- CS** - Amido de mandioca
- EVOH** - Álcool etileno vinílico
- FTIR** - Ede infravermelho por transformada de Fourier
- HCl** - Ácido clorídrico
- HMHDPE** - Polietileno de Alta Densidade de Alto Peso Molecular
- ISO** - International Organization for Standartization
- LDPE** - Polietileno de Baixa Densidade
- LLDPE** - Polietileno Linear de Baixa Densidade
- MEV** - microscópio eletrônico de varredura
- PA** - Poliamida
- PE** - Polietileno
- PET** - Tereftalato de polietileno
- PLA** - Ácido Polilático
- PP** - Polipropileno
- PVA** - Permeabilidade ao vapor de água
- TP** - Polifenol de chá
- TPS** - Amido termoplástico de mandioca

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
2.OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral.	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1.Amido, filmes biodegradáveis e filmes de amido: conceitos gerais	16
3.1.1. Amido.....	16
3.1.2. Filmes Biodegradáveis e Cosméticos.....	26
3.1.3. Filmes de Amido	29
3.1.4. Processos de produção de biofilmes	30
3.1.5. Métodos de caracterização de biofilmes.....	34
3.1.6. Efeitos da adição de aditivos nos filmes biodegradáveis a base de amido.	38
3.2.Filmes a base de amido de fontes não-convencionais	41
3.2.1. Amidos de fontes não-convencionais	41
3.2.2. Recentes aplicações de amidos de fontes não-convencionais em filmes ..	45
3.2.3. Patentes mais recentes de filmes de amidos não convencionais	50
4.METODOLOGIA	51
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
6.CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

Os filmes biodegradáveis, compósitos naturais formados por biopolímeros, vêm sendo alvo de estudo no campo acadêmico, por se tratar de uma alternativa de substituição do uso de polímeros não biodegradáveis à base de petróleo em muitas aplicações específicas, como a produção de embalagens de alimentos e sacolas plásticas (LANDIM et al., 2016). Essas são geralmente fabricadas pelas indústrias, tendo como materiais mais usuais na sua produção: o polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP), poliamida (PA) e álcool etileno vinílico (EVOH); estes são materiais de fontes não-renováveis, quando expostos às condições ambientais (SONAR et al., 2020; NGUYEN et al., 2020).

A quantidade crescente de resíduos plásticos acumulados no meio ambiente e sua fragmentação em partículas menores, conhecidas como microplásticos (partículas inferiores a 5 mm, as quais são danosas para a vida marinha), levantaram preocupações globais devido à sua persistência no meio ambiente e seu potencial para atuar como vetores de substâncias nocivas ou microorganismos patogênicos (SIM et al., 2021).

Neste contexto, as pesquisas sobre filmes biodegradáveis têm se intensificado cada vez mais, considerando-se que podem ser feitos com base em biopolímeros, como proteínas, lipídios e polissacarídeos áridos derivados de fontes naturais renováveis, os quais são completamente biodegradáveis ao longo de um período de tempo consideravelmente curto, ajudando assim a reduzir poluição ambiental (HERNANDEZ-IZQUIERDO et al., 2008; DURANGO et al., 2011).

Dentre os biopolímeros que podem ser usados na produção de filmes biodegradáveis, encontra-se o amido, por apresentar não toxicidade, biodegradabilidade e ampla disponibilidade a partir de recursos naturais renováveis (ABDUL KHALIL et al., 2017).

Com o crescimento das demandas por novos produtos de amido, torna-se necessário intensificar os estudos sobre sua estrutura, propriedades, modificações e aplicações, especialmente considerando as limitações desse material quando utilizado como matriz em filmes, especialmente em função de seu caráter hidrofílico (COLMAN et al., 2016).

Outro ponto importante a ser destacado é o número demasiado de fontes de obtenção desse amido, muitas das quais são pouco exploradas pela indústria.

Segundo a “Association des Amidonniers et Féculiers”, o consumo de amido e seus derivados no mercado da União Européia atingiu nove milhões de toneladas em 2012, distribuídos em 61% em aplicações alimentares e 38% aplicações não alimentares (AAF 2013).

Diante do exposto, o estudo sobre filmes biodegradáveis, se propôs a investigar o uso dos amidos nesse processo. Conhecer a origem e aplicação dos amidos na produção de biofilmes é uma proposta ousada que se justifica pela necessidade de ampliar o conhecimento acerca do tema em questão, tendo como premissa os estudos já existentes.

Para tratar sobre os biofilmes, o estudo sobre amido se configurou como pré-requisito da pesquisa, entrelaçando pensamentos e posturas de diferentes autores, cujos resultados foram compilados nos capítulos deste material monográfico.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Apresentar uma revisão bibliográfica sobre filmes biodegradáveis a base de amidos não convencionais, abordando algumas patentes mais atuais acerca do tema, e como a comunidade científica procura explorar seu uso.

2.2. Objetivos Específicos

- Apresentar os filmes biodegradáveis produzidos com amidos não convencionais.
- Comparar os efeitos causados por aditivos nos filmes biodegradáveis de amido.
- Expor a importância dos filmes biodegradáveis de amido em meio ao uso de filmes sintéticos.

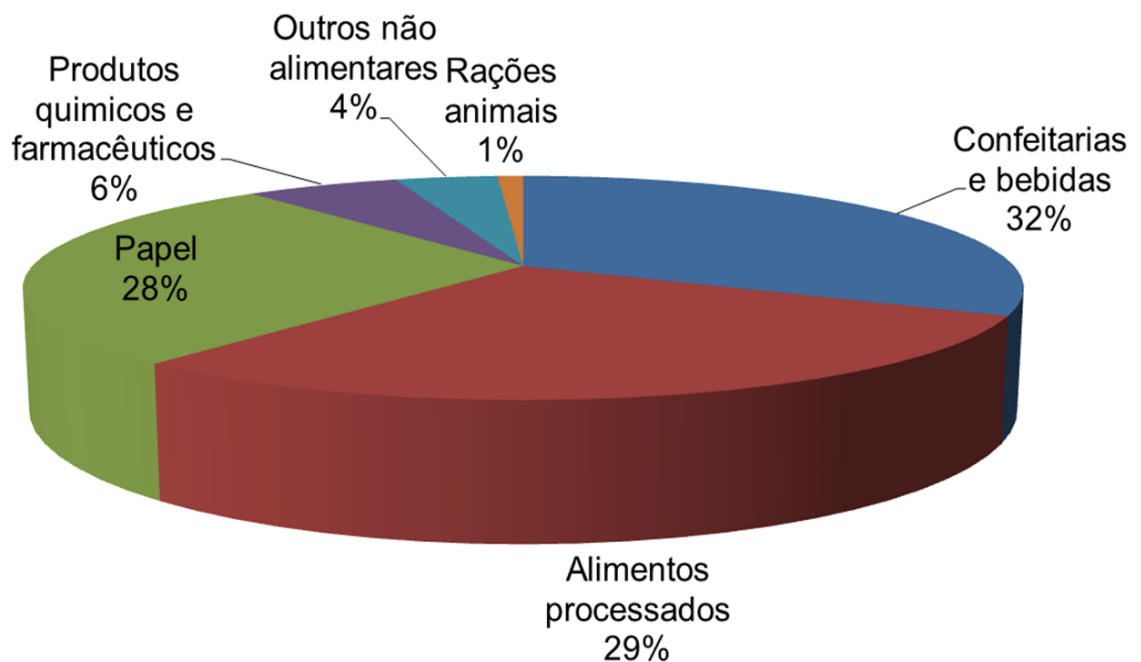
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos dias atuais, frente a visível crise ambiental, a busca por produtos com alta capacidade de degradação, tem sustentado a proposta de estudar os amidos, conhecidos, popularmente, pela sua função alimentar e não como um recurso biodegradável, como vem sendo apontado no campo científico (FRANCHETTI et al., 2006).

Sabe-se que, popularmente, os amidos são conhecidos pela função alimentícia da humanidade, pouco se conhece sobre a sua utilidade no campo científico, o que torna interessante uma apresentação de suas propriedades nesse campo, que sem via de dúvidas, traz inúmeros esclarecimentos da sua importância no processo de produção dos biofilmes.

A “Association des Amidonniers et Féculiers”, trata sobre o consumo de amido e seus derivados no mercado reportando-se a União Européia, que atingiu nove milhões de toneladas em 2012, distribuídas em 61% em aplicações alimentares e 38% aplicações não alimentares, como evidencia a figura 01.

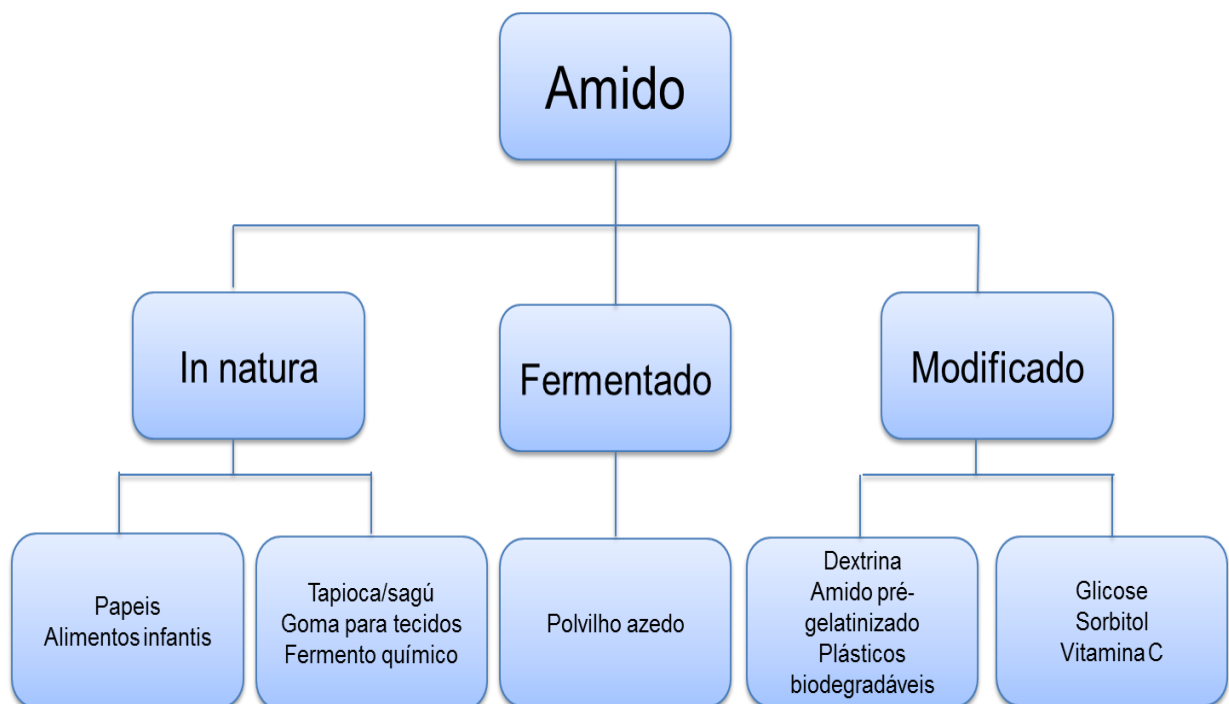
Figura 01: Gráfico dos Setores de aplicação dos produtos amiláceos, nos diversos setores industriais, no ano de 2012.



Os estudos de Pascoal (2014) afirmam que a utilização do amido em produtos industriais remonta a tempos antigos. Os produtos amiláceos são utilizados como matérias-primas em diversas atividades industriais, com destaque para as indústrias de alimentos, de rações animais, farmacêuticas e de cosméticos, papelaria, adesivos e têxtil e também na produção de álcool.

A produção anual de amido no Brasil é de aproximadamente 1,5 milhões de toneladas, sendo que a indústria alimentícia consome 68% desta produção, seguida pela indústria de papel (16%), mineração (6%) e têxtil (5%). A indústria amideira extrai amido de diversas fontes e o processa em uma grande variedade de produtos, como é o caso dos amidos nativos, os xaropes de glicose, maltose e frutose, as dextrases (anidra ou monohidratada) e as maltodextrinas. Como exemplo, se pode citar a mandioca, cuja produção em 2019, no Brasil, chegou a 18,9 milhões de toneladas de raiz.

Figura 02: Aplicações do amido no Brasil.



Fonte: Pascoal, 2014.

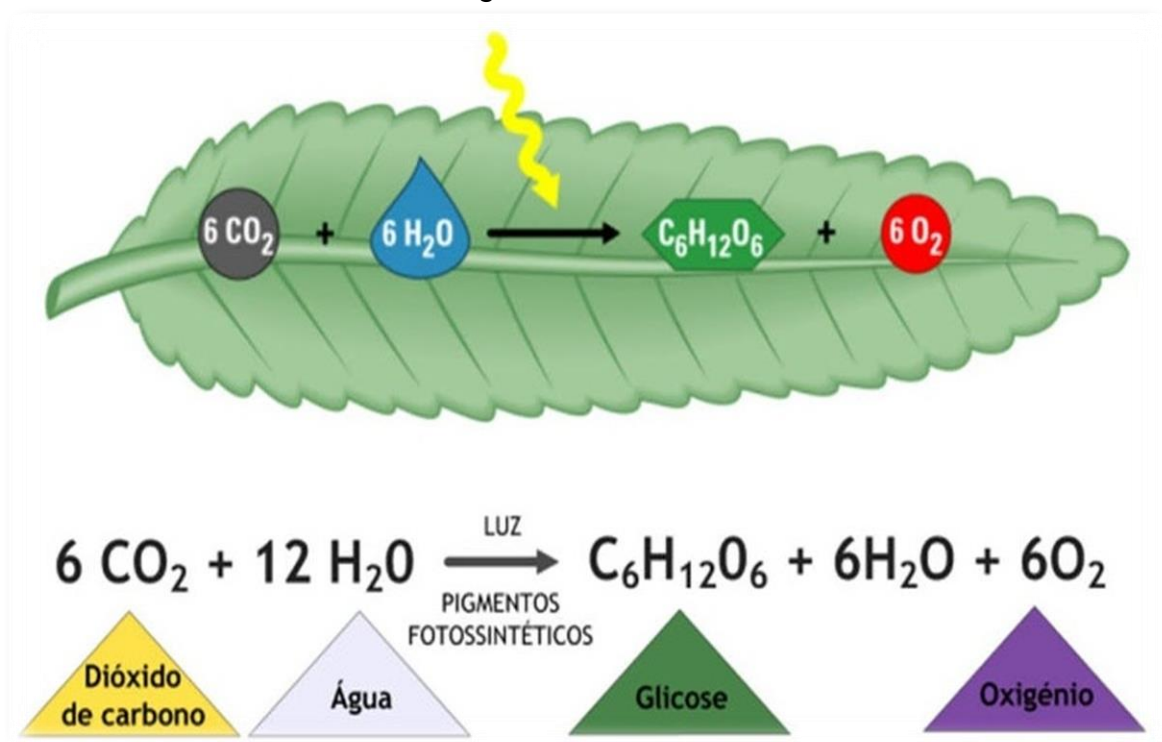
3.1. Amido, filmes biodegradáveis e filmes de amido: conceitos gerais

3.1.1. Amido

O amido, também conhecido como fécula, é um biopolímero natural, um carboidrato muito importante produzido e armazenado nas plantas. O amido é um homopolissacarídeo, o que significa que sua molécula é constituída de repetições de um único monômero. A maioria das células vegetais tem a capacidade de sintetizá-lo, sendo encontrado em grânulos intracelulares: nos cloroplastos como amido de assimilação; e amido de reserva em leucoplastos, nas folhas, em sementes, frutos, raízes e principalmente em caules do tipo tubérculo. Exemplo de alimentos com considerável quantia de amido: milho, trigo, arroz, batata, mandioca, entre outros (COSTA, 2012).

A síntese ocorre com o acúmulo de glicose no momento em que acontece a fotossíntese (MATSUGUMA et al., 2009; PHILIPPI, 2014; COLMAN et al., 2016), cujo processo está representado na Figura 03.

Figura 03: Fotossíntese



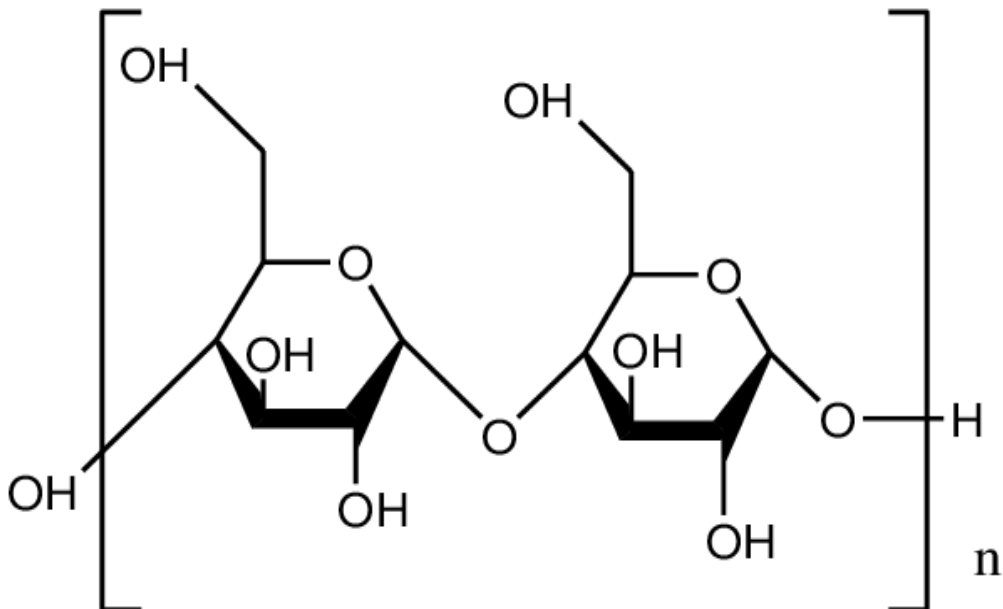
Fonte: <http://fisiologiavegetalporhilde.blogspot.com/2011/10/estruturas-envolvidas-na-fotossintese.html>

Além de ser fabricado pelos vegetais através da fotossíntese, o amido também pode ser armazenado no fígado e nos músculos em forma de glicogênio pelos animais. Sendo a glicose um monossacarídeo de maior importância para o ser

humano, está presente nas frutas, no mel em xaropes de milho, raízes e tubérculos (PHILIPPI, 2014). Com essa fala, o autor esclarece sobre o uso dos amidos em diferentes produtos consumidos no dia a dia das pessoas.

O amido é formado por dois polissacarídeos: a amilose e amilopectina, com diferentes estruturas e tamanhos (FUENTES et al., 2019). A amilose tem forma linear, e é constituída aproximadamente por cerca de 200 a 10 mil moléculas de glicose unidas por ligações α -(1 \rightarrow 4) glicosídica. A amilopectina é bastante ramificada, por isso é conhecida como a fração ramificada do amido, com aproximadamente de 5% das unidades de glicose sendo ligadas por ligações α -(1 \rightarrow 6) à espinha dorsal das cadeias lineares das unidades são ligadas por ligações α -(1 \rightarrow 4) (FERNANDEZ et al., 2011). Como mostra a Figura 4:

Figura 04: Representação da estrutura do amido de milho

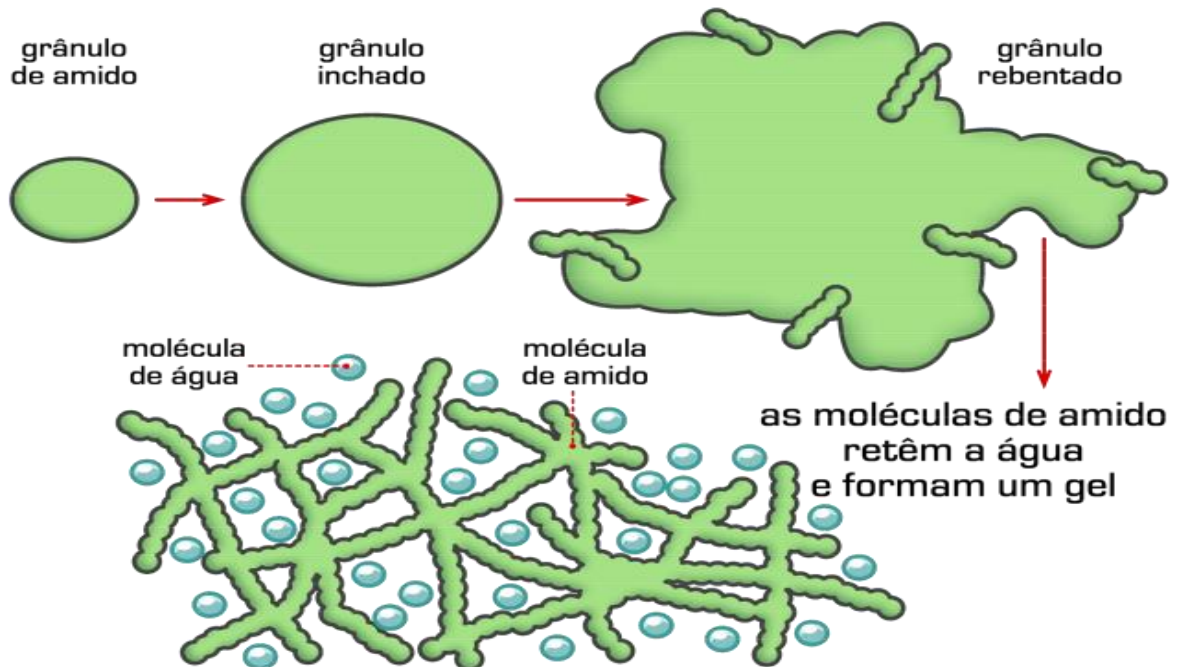


Fonte: Rocha, 2008.

Os estudos sobre os amidos mostram que as propriedades físico-químicas mais estudadas são a gelatinização e retrogradação (SRICHUWONG & JANE, 2007). Quando aquecido, o amido incorpora muitas moléculas de água, chegando a aumentar seu volume em 2.000%. Nesse processo, toda a água livre fica incorporada ao amido, e a viscosidade e transparência da solução aumentam gradualmente até um determinado limite, com o aumento da temperatura. Nesse ponto, a temperatura pode ser reduzida e um gel é formado, esse processo de

gelatinização pode ser observado através de um desenho esquemático a seguir na Figura 5.

Figura 05: Processo de gelatinização de amido

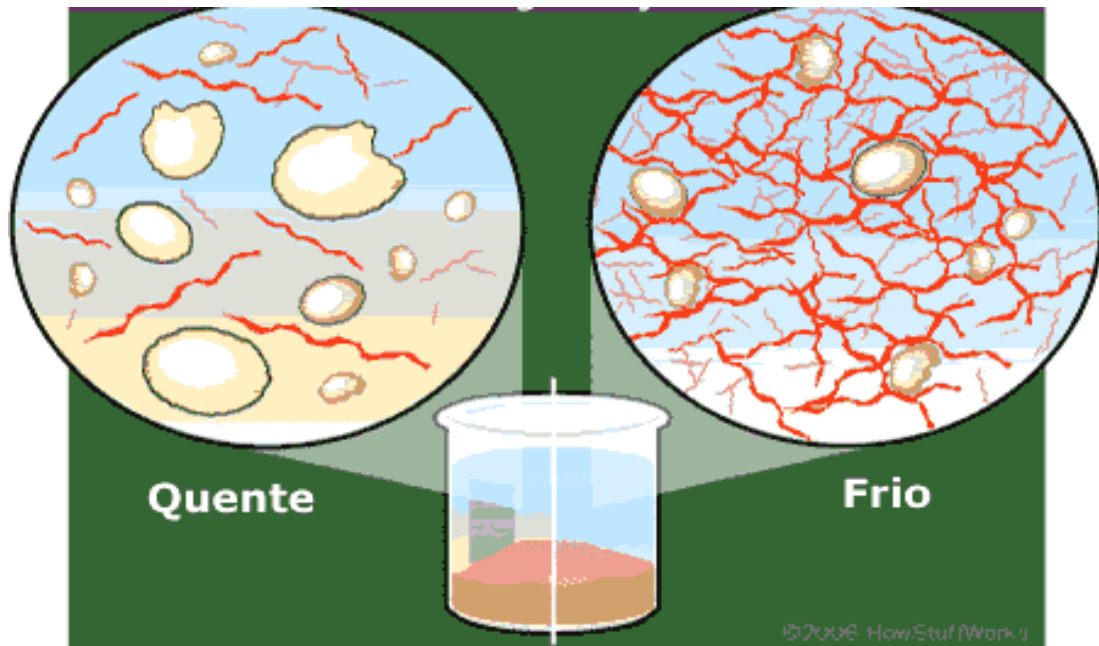


Fonte: <http://nutriagindo.blogspot.com/2014/11/amido.htm>

Para cada tipo de amido, tem-se uma temperatura ideal a ser seguida, a qual deve ser utilizada para garantir uma melhor qualidade do gel formado. O arroz, por exemplo, apresenta um intervalo de temperatura de 68 a 78 °C, o trigo 58 a 64 °C, o milho, 62 a 72 °C, a batata 59 a 68 °C e a mandioca, 56 a 70 °C. Após o resfriamento do gel, as moléculas de amilose tendem a se aproximar e criam zonas micelares cristalinas, expulsando algumas moléculas de água ligadas à amilose e formando fortes pontes de hidrogênio.

Esse processo é conhecido como retrogradação do amido e, na maioria das vezes, é inconveniente, pois pode modificar a digestão do amido ou alterar a textura do gel formado (PHILIPPI, 2014). Na Figura 6 é possível visualizar um esquema deste processo, onde as linhas vermelhas representam a amilose e o desenho em forma de bolhas furadas representam as partes colapsadas, contendo mais amilopectina.

Figura 06: Processo de retrogradação amido



Fonte: <http://nutrio2009.blogspot.com/>

O estudo da estrutura de agrupamentos e blocos de construção leva um grande esforço sendo bastante demorado, correlacionando a composição da cadeia de unidade interna de amilopectina com as propriedades do amido o que pode ser viável para explorar as relações da estrutura com as propriedades (BERTOFT et al., 2016). A hipótese era que a diferença na estrutura molecular interna da amilopectina pode ser usada para explicar as diferentes propriedades funcionais do amido (gelatinização, retrogradação, e suscetibilidade enzimática do amido retrogradado) (ZHU & LIU, 2020).

Em amidos nativos a quantidade de amilose varia geralmente entre 15% a 30% para 70% a 85% de amilopectina em relação ao peso (matéria seca) de amido total (RINDLAV-WESTLING et al., 2002). Existem algumas exceções de amidos nativos que não seguem essa proporção, como é o caso do amaranto (*Amaranto caudatus*). Quanto maior teor de amilose de um amido, maior será sua viscosidade. Ao comparar o teor de amilose de milho (28%) ao teor encontrado na batata (23%), pode-se comprovar a maior viscosidade de um mingau de milho em relação a um purê de batata (PHILIPPI, 2014).

É pertinente esclarecer que a amilose e a amilopectina podem ser encontrados nos mesmos amidos, porém em quantidades diferenciadas, como mostra a Tabela 01.

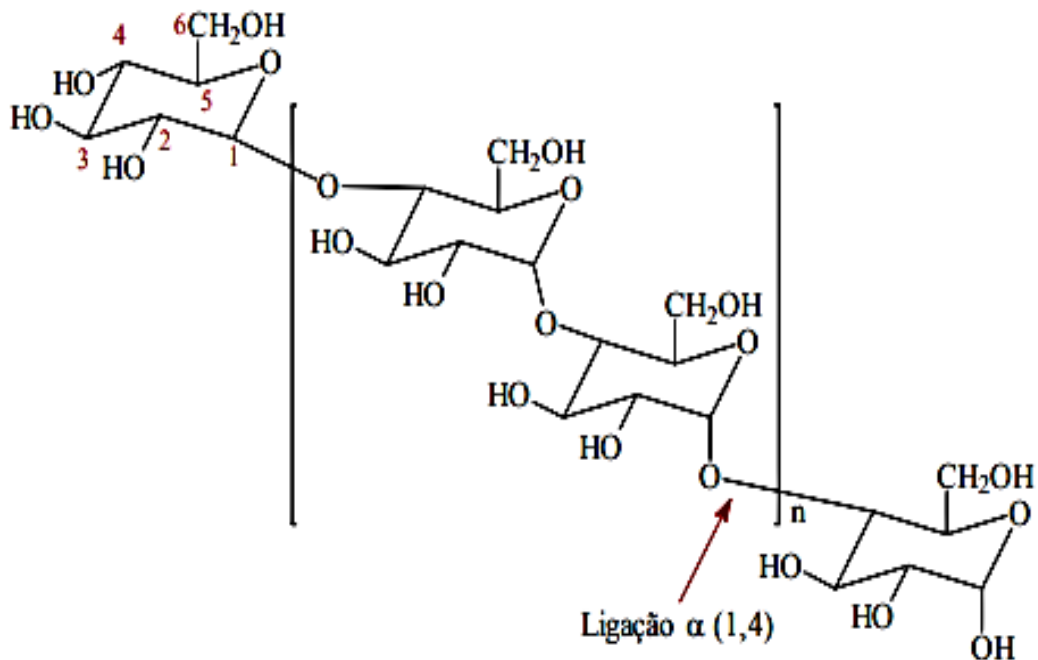
Tabela 01: Conteúdo de amilose e amilopectina de amidos naturais.

Fonte Vegetal	Amilose (%)	Amilopectina (%)
Mandioca	16 – 20	84 – 80
Milho	25	75
Arroz	15 – 25	85 – 75
Aveia	16 – 33	84 – 67
Trigo	20	80
Batata	23	77

Fonte: WANG; WHITE, 1994; GARCIA, 1999; ALVES; GROSSMANN; SILVA, 1999 e MALI, 2010.

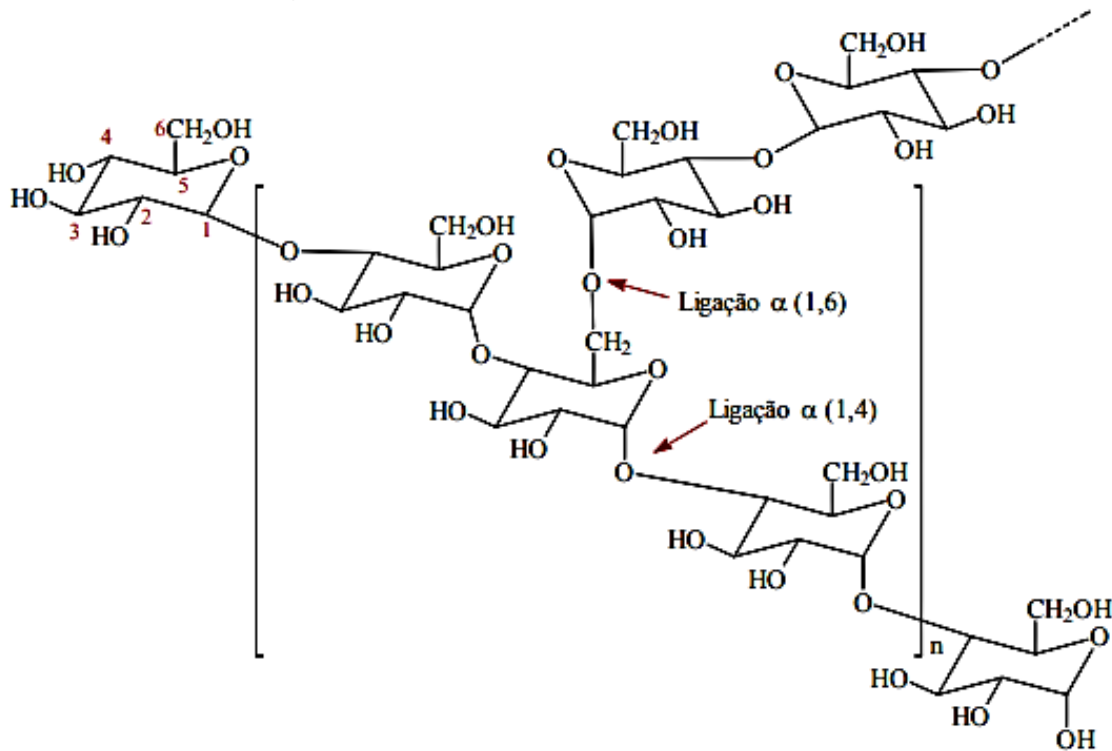
Entende-se que, de acordo com as proporções de amilose e amilopectina no amido, estas dão ao mesmo, diferentes propriedades físicas, químicas e funcionais, direcionando sua aplicação em diversas áreas (QIN et al., 2016; SJÖÖ & NILSSON, 2018), considerando-se a estrutura dessas moléculas, explicitadas nas figuras 07 e 08.

Figura 07: Estrutura molecular da Amilose



Fonte: Bressanin, 2010.

Figura 08: Estrutura molecular da Amilopectina



Fonte: Bressanin, 2010.

A exemplo disso, se pode destacar o amido de batata e amido de milho, fundidos em solvente para gerar biofilmes a serem comparados com filmes de Polietileno de Baixa Densidade (LDPE) moldados por compressão, Polietileno de Alta Densidade de Alto Peso Molecular (HMHDPE), Polietileno Linear de Baixa Densidade (LLDPE) e PLA (Ácido Polilático) para analisar a taxa de degradação.

A microestrutura revelou que o filme de amido de batata contendo menor teor de amilose (21%) e 2 ml (32% em peso de base seca de amido) de glicerol (plastificante) produziu filmes transparentes, uniformes, finos (117 μm) com maior resistência à tração (3,16 MPa) e bom brilho de superfície a 45° (17,4%), enquanto os filmes de amido de milho (solubilidade em água - 40,26%) têm uma taxa de biodegradabilidade mais alta em todos os meios (94,23% em resíduos vegetais e 99,99% em HCl 0,1 N) podem atuar como um melhor biofilme (DATTA et al., 2019).

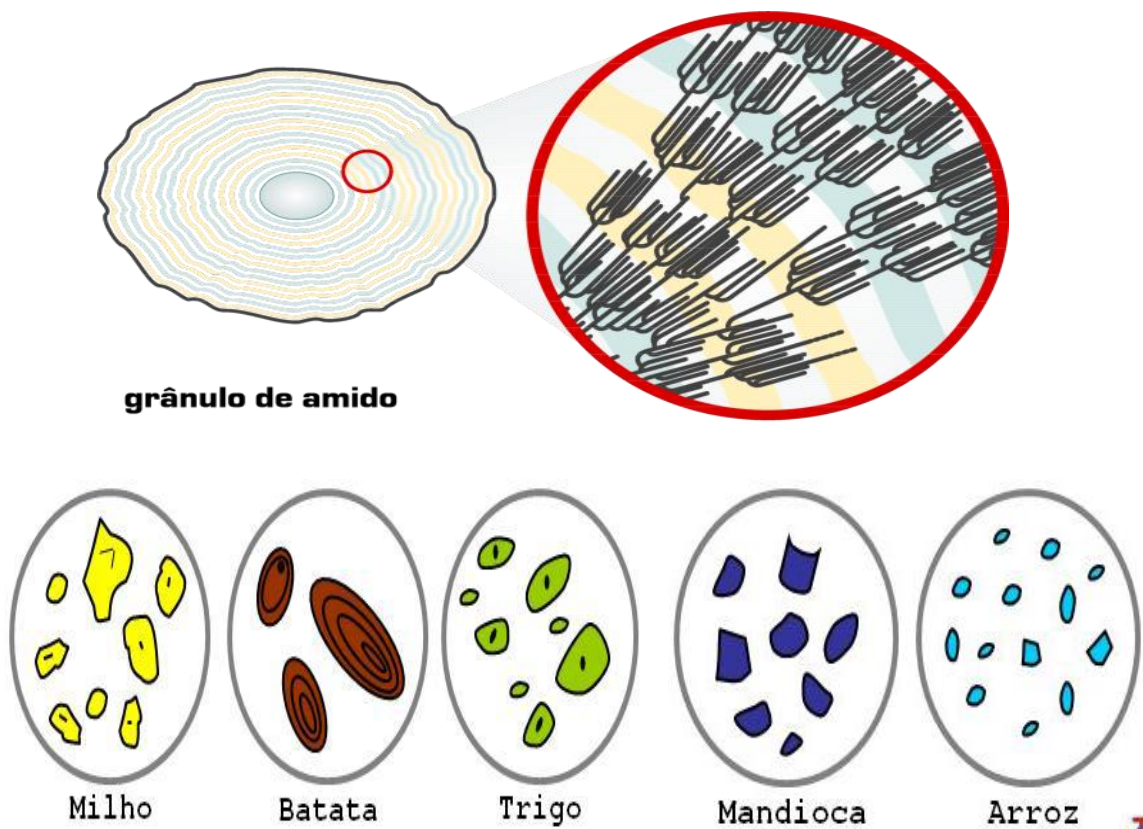
A mistura de amido mais a sacarose, para promover a desmineralização do esmalte e dentina, sabendo-se que a sacarose é o carboidrato alimentar mais cariogênico e o amido considerado não cariogênico para esmalte e moderadamente cariogênico para dentina. Após a determinação da porcentagem de perda de dureza

superficial para avaliar a desmineralização do esmalte e dentina, foi possível sugerir que o amido aumenta o potencial cariogênico da sacarose (BOTELHO et al., 2016).

Amido ceroso de milho nativo que foi usado para substituir o amido azedo de mandioca na produção de pão de queijo, apresentando um resultado satisfatório comparado ao pão de queijo tradicional feito com amido azedo de mandioca, por apresentar uma pontuação de mais de 7,79 para textura, aparência e sabor com maior disposição para comprar (92,5%) (TEIXEIRA et al., 2020).

O estudo sobre forma e tamanho de grânulo de amido de diferentes fontes botânicas, como se pode observar na Figura 09 que mostra, visivelmente, essas diferenças.

Figura 09: Forma e tamanho de grânulo de amido de diferentes fontes botânicas



Fonte: Bressanin, 2010.

Concernente a forma e tamanho de grânulos de amido (Figura 06) se concluir que amidos que apresentam baixa diferença entre diâmetros e distribuição mais

homogênea como os de ahipa, batata-doce e gengibre podem ser estudados para aplicação em papel (LEONEL, 2007).

A esse respeito, os estudos de Bressani (2010), mostram graficamente a diferença na forma e tamanho de diferentes grânulos, como pode ser observado na Figura 5 e definido na Tabela 02.

Tabela 02: Características de amidos de diversas fontes vegetais

Fonte	Tipo de amido	Forma do grânulo	Diâmetro	Amilose (%)	Amilopectina (%)
milho	cereal	Redondo, poligonal	5-26	28	72
Trigo	cereal	Redondo	2-10; 20-35	28	72
arroz	cereal	Poligonal, angular	3-8	30	70
mandioca	tubérculo	Redondo, oval	5-30	14-18	86-82
batata	cereal	Redondo, oval	15-100	18-20	82-80

Fonte: Bressanin, 2010.

Estudos afirmam que há diversidade na aplicabilidade do amido, ao mesmo tempo em que reforçam que os amidos são, inerentemente, inadequados para muitas aplicações e, portanto, devem ser modificados fisicamente e/ou quimicamente para melhorar seus atributos positivos e/ou para minimizar seus defeitos (ZIA-UD-DIN et al., 2017).

Dependendo das aplicações, o amido pode não suprir a necessidade que tal produto precisa, o pão doce, por exemplo, não é incomum para clientes serem decepcionados com a rapidez com que este se torne danificados. O principal problema é a retrogradação, uma vez que diminui a vida de prateleira devido à reação fisicoquímica (SEETAPAN et al., 2015), fazendo-se necessário realizar alguns procedimentos como adição de amidos modificados para melhorar tais desvantagens (DAMAT et al., 2020).

Os amidos nativos são amidos inalterados usados no papel e indústrias alimentícias como agentes aglutinantes e espessantes. Amidos modificados são amidos nativos alterados por processos químicos, físicos ou enzimáticos que são usados em várias indústrias, para fazer adoçantes, como xaropes, isoglucose, dextrose, frutose, maltodextrinas, polióis e caramelos, que são obtidos a partir da hidrólise do amido e são usados principalmente nas indústrias de alimentos, bebidas

e confeitaria, mas também na fermentação setores farmacêuticos (CASTRO et al., 2020).

Castro et al., (2020) enfatizam o uso dos amidos nas indústrias alimentícias, listando alguns deles na Tabela 03.

Tabela 03: Principais funções dos amidos nas indústrias de alimentos

Função	Alimentos
Adesiva	Batters e panificados
Agente Ligante	Carnes e condimentos
Agente de Densidade	Bebidas
Crocância	Produtos fritos ou assados e snacks
Empanamento	Drageados, batters e panificados
Emulsificante	Bebidas, molhos de salada e aromas líquidos
Encapsulamento	Aromas em pó
Expansão	Snacks e cereais
Substituto de Gorduras	Sorvetes, molhos de saladas, maionese, recheios e produtos espalháveis
Formação Espuma	Marshmallows
Gelificante	Balas de Goma, geléias e recheios.
Transitor Vítreo	Confeitaria em geral
Retenção de Umidade	Bolos e produtos cárnicos
Espessante	Molhos em geral, maionese, recheios e sopas

Fonte: <http://www.hidrocoloides.com.br/2012/04/panorama-despretensioso-sobre-amidos.html>

A modificação de amidos é geralmente realizada por meio de métodos que são simples e baratos devido à ausência de agentes químicos. Por outro lado, a modificação química envolve a exploração do grupo hidroxila presente nos amidos que traz os resultados desejados para a utilização de amidos para aplicações específicas (ZIA-UD-DIN et al., 2017). A exemplo, os amidos modificados por superaquecimento seriam adequados para a produção de uma variedade de alimentos (por exemplo, macarrão), em que propriedades como baixa perda de cozimento (baixa solubilidade), baixa clareza da pasta (baixa transparência), não pegajosidade (baixa viscosidade de pico), maior grau de gelatinização (baixo ΔH e cristalinidade relativa), retrogradação rápida (alto recuo) são preferidos (HU, et al., 2018).

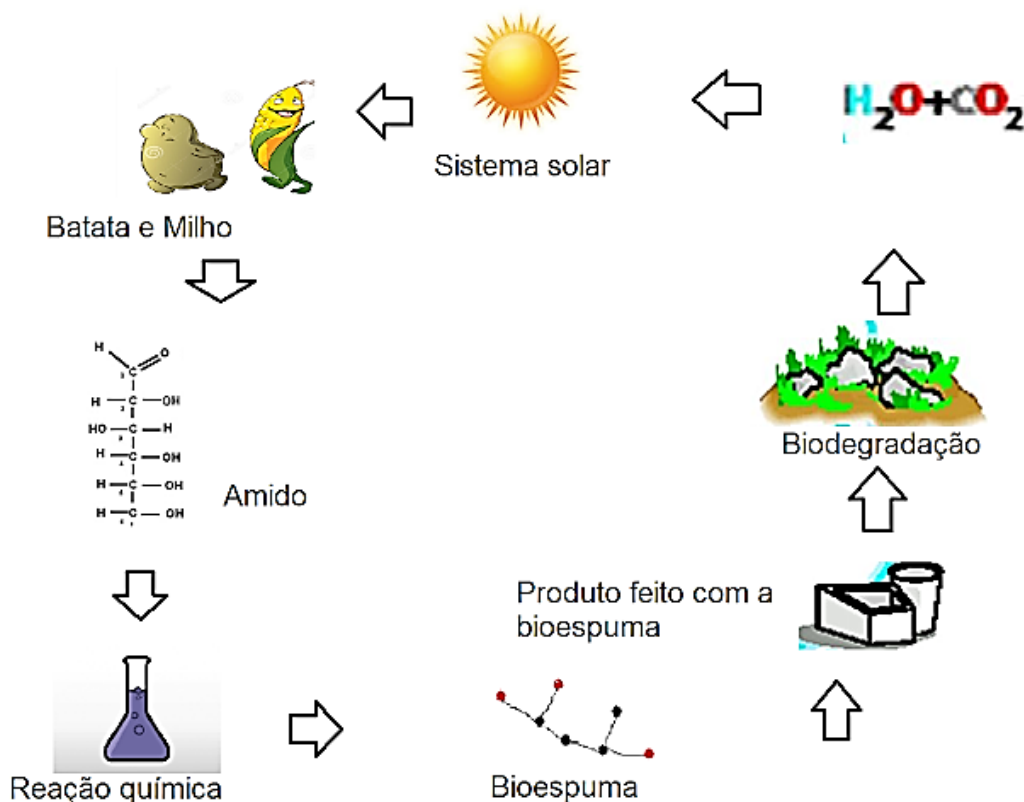
3.1.2. Filmes biodegradáveis e comestíveis

Filme pode ser considerado como uma fina camada de um produto que recobre uma superfície, também pode ser conhecido por película. O termo 'filme' pode ser empregado quando a espessura for inferior a 0,254 mm (CANEVAROLO, 2002).

Filmes biodegradáveis podem ser formados a partir de biopolímeros, como proteínas e polissacarídeos que têm baixo impacto quando exposto ao meio ambiente (ALVES LOPES et al., 2020). São usados estes materiais devido suas cadeias longas serem capazes de produzir matrizes de forma contínua que, por sua vez, geram estrutura ao filme polimérico (MALI et al., 2010).

Os plásticos biodegradáveis decompõem-se em seus componentes mais simples pela atividade dos micro-organismos ao entrar em contato com o solo, com a umidade, com o ar e com a luz solar, ao contrário do que ocorre com as resinas petroquímicas, que permanecem por muito tempo sem sofrer alterações.

Na figura 10 é possível visualizar um esquema simbólico de como ocorre a decomposição do bioplástico.



Fonte: http://plasticobiodegradavel2c.blogspot.com/2015/10/definicao-de-biodegradavel-existe-uma_77.html

Os polímeros comestíveis naturais são materiais feitos de constituintes naturais comestíveis que podem ser consumidos por animais ou seres humanos sem risco para a saúde. Uma vez que são consumidos diretamente com a comida, nada fica para descarte (MOHAMED et al., 2020). Polissacarídeos tais como pectina, carragenina, alginato, amido e goma xantana, têm sido usados como materiais de biopolímero para criar revestimentos e filmes comestíveis para reduzir embalagens plásticas (ESPITIA et al., 2014b) (Figura 11).

Figura 11: Filmes comestíveis



Fonte: https://www.google.com/search?rlz=1C1CHBD_pt-brBR906BR906&sxsrf, 2020.

Filmes comestíveis a base de amido de milho e extrato de erva-mate

A exemplo de filmes comestíveis, o estudo indica o trabalho de Medina Jaramillo et al. (2016), a qual produziu filme comestível a base de amido de mandioca e extrato de erva-mate, sendo o objetivo avaliar o efeito plastificante do extrato de erva-mate, além da biodegradabilidade e degradação térmica do mesmo. Os resultados mostram que o efeito plastificante do extrato de erva-mate o torna um aditivo atraente para filmes de amido que serão usados como embalagem ou revestimento; e sua contribuição para uma biodegradabilidade anterior contribuirá para a redução de resíduos.

Filmes comestíveis a base de amido de mandioca, quitosana e gelatina

Uma mistura polimérica à base de amido de mandioca, quitosana e gelatina foram combinadas a um plastificante para produzir filmes biodegradáveis com propriedades mecânicas e de barreira satisfatórias, a fim de serem utilizados como recobrimento de frutas. Quantidades menores de amido levaram a filmes mais flexíveis, menos opacos e solúveis, enquanto a combinação de níveis mais elevados de amido e quitosana foram responsáveis por diminuir a taxa de transmissão de vapor de água dos filmes. Assim, os filmes apresentaram propriedades interessantes para o recobrimento de superfícies de frutas (SILVA et al., 2019).

Filmes comestíveis de pectina e quitosana

Filmes comestíveis de pectina e quitosana produzidos separadamente não apresentaram defeitos óbvios, como barreira fraca e propriedades mecânicas. Logo uma mistura desses dois componentes para produzir filme biodegradável foi realizada. Tendo como intuito verificar se a junção de ambos melhora as propriedades que separados não conseguem suprir. O estudo revelou que a aplicação conjunta ou mistura de quitosana e pectina poderia gerar um filme comestível com desempenho superior aos seus próprios constituintes individuais (YOUNIS, H. G. R.; ZHAO, G., 2019).

Filmes comestíveis contendo gelatina e alginato de sódio

Filmes comestíveis ativos contendo gelatina e alginato de sódio, além da incorporação de polifenol de chá (TP) foram preparados e avaliados quanto as propriedades físicas, antioxidantes e morfologia desses filmes. Conforme a realização dos testes de resistência à tração (Ts), ângulo de contato (CA), grau de reticulação, alongamento na ruptura (EAB), permeabilidade ao vapor de água (PVA), a espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi possível verificar que a incorporação de TP em gelatina e filme de alginato de sódio foi um método eficaz para melhorar as propriedades físicas e a atividade antioxidante dos filmes (DOU et al., 2018).

3.1.3. Filmes de amido

Em meados dos anos 70, pesquisas sobre a adição de amido em matrizes poliméricas sintéticas, na proporção de 5 a 20% em massa, começaram a surgir,

levando a obtenção de plásticos considerados biofragmentáveis, mas não completamente biodegradáveis. Por volta da década de 90, ocorreu um aumento de interesse de desenvolvimento de materiais termoplásticos, compostos essencialmente por amido, envolvendo a adição de plastificantes para melhorar as propriedades mecânicas (LUCHESE et al., 2018). As principais características que tornam o amido um promissor material para produzir filmes biodegradáveis são: ampla disponibilidade, baixo custo e total compostabilidade sem resíduos tóxicos (ZIA-UD-DIN et al., 2017).

Zhong et al., (2020) reforça as vantagens do uso do amido sendo um polímero biodegradável que pode ser fabricado em grandes quantidades a um custo relativamente baixo, fácil manuseado e forma produtos de filme com baixa permeabilidade ao oxigênio, porém ressalta a desvantagem com o amido nativo, pois o desafio é que ele é quebradiço e hidrofílico. Isso limita suas várias aplicações, como seu uso para a fabricação de sacos plásticos e embalagens de alimentos. Para aumentar sua flexibilidade e melhorar a facilidade de processamento ou plastificação do amido, vários plastificantes como (glicerol e sorbitol) são empregados para converter o amido em amido termoplástico (TPS) por meio da aplicação de calor e cisalhamento nos processos de extrusão (ISOTTON et al., 2015).

O mecanismo de formação de filmes de amido depende da concentração de sólidos totais e do teor de amilose. Geralmente, a formação de filmes ocorre pela agregação e empacotamento dos grânulos de amido intumescidos de uma dispersão com concentração relativamente elevada de sólidos (LUCHESE et al., 2018)

As moléculas de amilose em solução apresentam tendência a orientar-se paralelamente, devido ao caráter linear da amilose e, conseqüentemente, a aproximar-se o suficiente para formarem ligações de hidrogênio em hidroxilas de polímeros adjacentes. Desta forma, ocorre a redução do polímero por água, o que favorece a formação de uma pasta opaca que posteriormente forma os filmes (MALI et al., 2010). Na Figura 12, é possível visualizar um biofilme a base de amido, produzido através da técnica de *casting*.

Figura 12: Filme biodegradável a base de amido pelo método *casting*



Fonte: Gerhard Waller, 2019.

3.1.4. Processos de produção de biofilmes

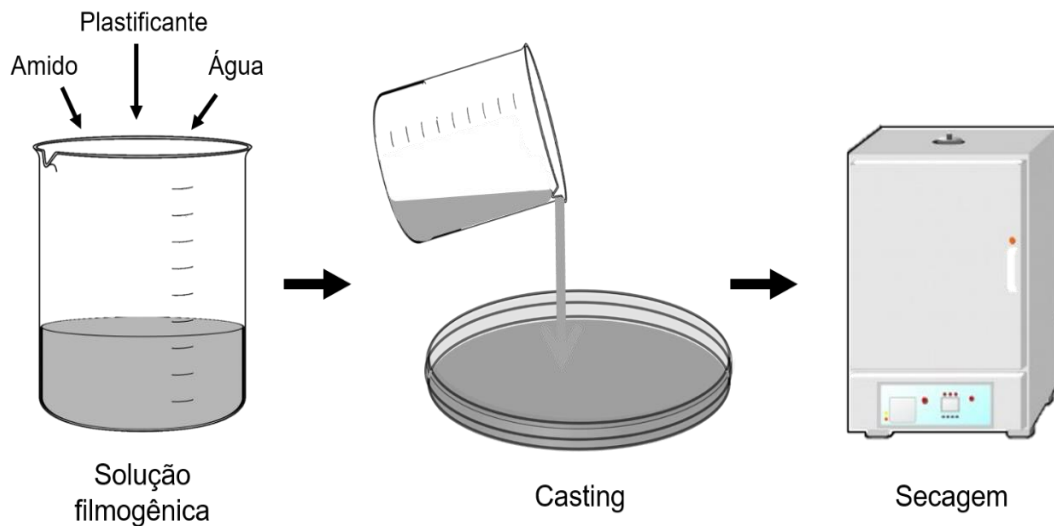
Para a produção de um filme biodegradável, primeiramente é preciso levar em conta que a microestrutura e as propriedades dos filmes de amido dependem do tipo de material utilizado para a sua produção (CUQ; GONTARD; GUILBERT, 1995). Desta forma a produção dos filmes a base de amido, exige a adoção de diferentes técnicas, dentre elas: Casting, Dipcoting, Spin coating, Extrusão.

Técnica de Casting

A técnica de *Casting* é baseada na evaporação do solvente contido na solução polimérica que é espelhada sobre a superfície, geralmente uma placa de petri, este processo pode ser acelerado pelo uso de aquecimento.

As técnicas aplicadas neste método acontecem após a gelatinização térmica dos grânulos de amido em excesso de água, a amilose e a amilopectina se dispersam na solução aquosa e, durante a secagem, se reorganizam, formando uma matriz contínua que dá origem aos filmes (MALI et al., 2010).

Figura 13: Representação esquemática do processo de obtenção de filmes por casting.



Fonte: A autoria do pesquisador, Laranjeira, 2020.

Na Figura 13, é possível visualizar um resumo das etapas de como ocorre a produção dos filmes biodegradáveis a base de amido pela técnica de *casting*. Vale ressaltar que a estrutura cristalina dos filmes de amido, e conseqüentemente, as propriedades mecânicas e de barreira, são fortemente influenciadas pelas condições de secagem dos mesmos (BADER; GÖRITZ, 1994a, 1994b, 1994c).

Técnica de Extrusão

Na extrusora, equipamento que pode ser observado na Figura 14, ocorre a fusão do material plástico que é forçado a passar por uma matriz aquecida e sai pela abertura o filme, na forma de um balão. Os filmes produzidos por esse processo são usados em diversos tipos de embalagens, como por exemplo, para embalar cereais, arroz, feijão, farinha, leite pasteurizado bem como produtos de higiene e limpeza ou ainda empacotar várias unidades de um mesmo produto, os chamados “packs” e outros produtos presentes em nosso dia a dia. Sendo esta, uma técnica muito utilizada nas industriais, por proporcionar a produção desses produtos em grande escala. Na literatura pouco se encontra esse método na produção de biofilmes, mas o trabalho encontrado usando amido termoplástico de mandioca (TPS) incorporadas com antocianina para uso potencial como indicador de variação de pH, mostra que possível produzir folhas inteligentes à base de amido usando um processo em larga escala (VEDOVE; MANIGLIA; TADINI, 2021).

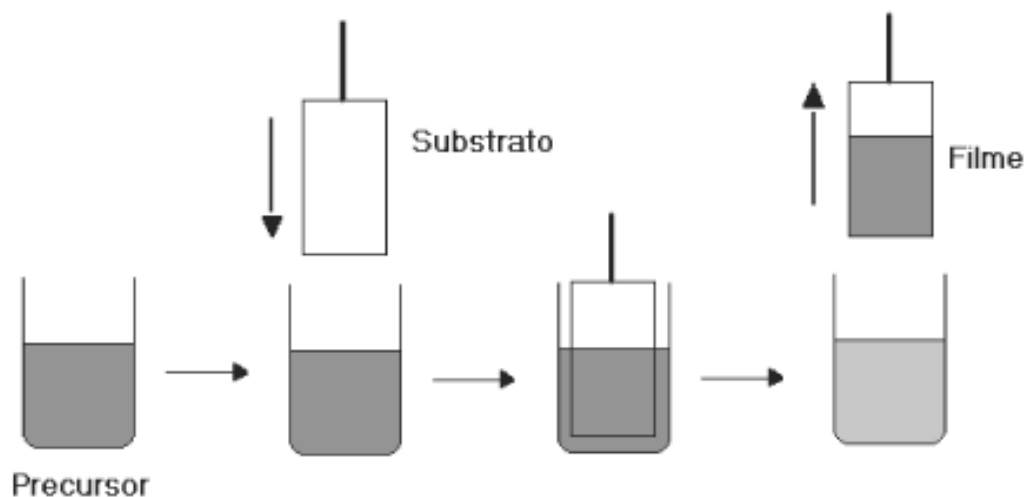
Figura 14: Extrusora



Técnica de Dipcoating

Essa técnica utiliza um substrato como base para a deposição do material que se deseja, este substrato é imerso na amostra da substância, e depois o substrato é retirado, de forma a obter uma deposição homogênea do material. Com isso, “é necessário o total controle da velocidade, assim como as vibrações durante a emersão e imersão do substrato” (JESUS, 2009). Este processo está representado de forma esquemática na Figura 15.

Figura 15: Representação esquemática do processo de obtenção de filmes por Dipcoating

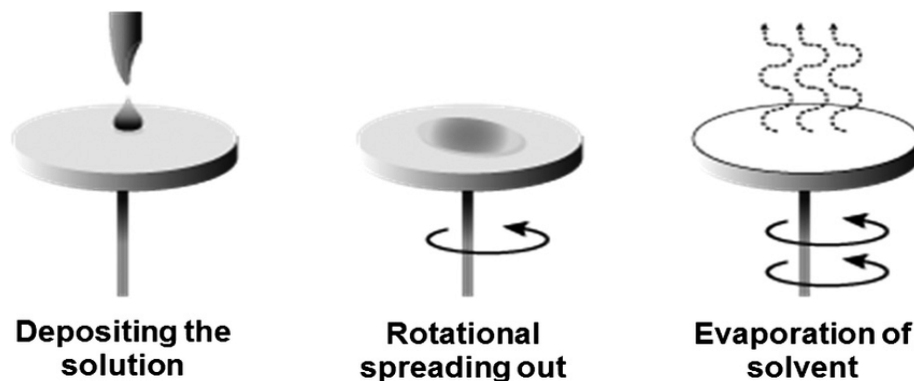


Técnica de Spin coating

É uma técnica simples e depende de equipamentos de baixo custo, basicamente um *spincoater*, que a grosso modo, é um motor elétrico com sistema de vácuo e controle de rotação e tempo, e um forno convencional para tratamento térmico dos filmes (LIMA, 2010). Esta técnica consiste na deposição de uma solução sobre uma superfície que apresenta movimento rotacional, responsável por provocar a evaporação do solvente.

“Alguns cuidados são muito importantes para a obtenção de um filme com estabilidade e homogeneidade, por exemplo, controlar o tempo, a velocidade de rotação e a viscosidade” (JESUS, 2009). Esta técnica de produção pode ser visualizada de forma esquemática na Figura 16.

Figura 16: Representação esquemática do processo de obtenção de filmes por *Spin coating*



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Spin-coating-processes-of-PCL-films_fig1_326537310

Em laboratório, a técnica mais usual na produção de filmes biodegradáveis, é a técnica de *casting*, que consiste em adição de biocompósitos diluídos em água em uma placa para posterior secagem. Embora essa técnica tenha mostrado resultados empolgantes em escala de laboratório, para escala industrial o processo de extrusão é geralmente recomendado, tornando assim os polímeros sintéticos os materiais mais usados para embalagens (FISHMAN et al., 2004; MALI et al., 2010; SEIXAS et al., 2013; SILVA et al., 2016; ALVES LOPES et al., 2020).

3.1.5. Métodos de caracterização de biofilmes

Após a produção dos filmes biodegradáveis, as caracterizações são necessárias para averiguar a utilidade do produto, logo os filmes podem ser investigados quanto as caracterizações físicas, morfológica, térmica e mecânica, através das análises de espessura, taxa de permeabilidade ao vapor de água, microscópio eletrônico de varredura (MEV), espectroscopia FTIR, a avaliação das propriedades mecânicas de resistência à tração e a porcentagem de alongamento. Como as propriedades físicas de um filme podem sofrer alterações devido a temperatura ou mesmo a umidade relativa durante a realização dos ensaios de caracterização, faz-se necessário seguir parâmetros para cada uma técnica, para que assim possa haver a replicação dos filmes e comparação de ambos (MALI et al., 2010).

Segundo os trabalhos de Oliveira et al. (1996) e Mali et al. (2010), existem algumas normas nacionais e internacionais que fixam padrões de condicionamento para embalagens plásticas flexíveis, dentre elas a norma E171-94 da ASTM (American Society for Testing and Materials), a norma 554-76 da ISO (International Organization for Standardization) e a NBR 7452 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Propriedades mecânicas

Mali et al. (2010) afirma que uma das análises mais essenciais para se caracterizar um filme biodegradável seja a dos ensaios mecânicos, pois em geral, estes materiais devem ser resistentes à ruptura e à abrasão, para proteger e reforçar a estrutura dos alimentos e, ainda, devem ser flexíveis, para adaptar-se a possíveis deformações sem se romper (SOBRAL, 2000a).

A resistência à tração, o alongamento na ruptura e o módulo de Young dos filmes são determinados usando um texturômetro sendo de acordo com a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) método D882-12 (ASTM, 2012), que se aplica à determinação das propriedades de tração de filmes com espessura inferior a 1 mm. Para tanto, pelo menos, 5 filmes de cada formulação são recortados (70 mm de comprimento e 25 mm de largura) e colocados no equipamento com separação inicial das garras de 50 mm e velocidade de operação de 0,8 mm s⁻¹. Os dados fornecidos pelo equipamento correspondem às curvas de tensão versus deformação

de onde são obtidos os valores das propriedades mecânicas, como a resistência máxima à ruptura [TS; MPa], a alongação máxima de ruptura [E; %] e o módulo de Young ou módulo de elasticidade [MY; MPa].

Conforme comentado anteriormente, a deformação é o alongamento relativo da amostra analisada em relação ao seu comprimento inicial. O módulo de elasticidade expressa à relação entre a resistência à tração e à deformação na região elástica do filme (coeficiente angular da reta), sendo, portanto, um indicador de rigidez do filme (PHUONG et al., 2016).

Análise de espessura

A espessura dos filmes pode ser medida utilizando um micrômetro digital, em 5 pontos aleatórios em cada amostra de 8,5 cm de diâmetro. Pelo menos 3 ou 5 amostras de cada formulação serão avaliadas quanto a sua espessura (PHUONG et al., 2016; LUCHESE et al., 2018).

Análise morfológica

A morfologia da superfície e da seção transversal dos filmes são analisadas usando um microscópio eletrônico de varredura (MEV). O princípio básico deste tipo de microscópio consiste em utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície amostral, transmitindo o sinal do detector por linhas sucessivas a uma tela catódica, cuja varredura está perfeitamente sincronizada com aquela do feixe incidente. O sinal de imagem resulta na interação do feixe incidente com a superfície da amostra, e a observação é permitida a partir do sinal recolhido pelo detector (DEDAVID et al., 2007).

Para materiais orgânicos como os filmes biodegradáveis as amostras são fixadas em um *stub* com fita dupla face e revestidas com ouro sob vácuo, usando um pulverizador iônico sob atmosfera de argônio. Todas as amostras serão examinadas usando uma tensão de aceleração de 15 Kv (LUCHESE et al., 2018). A principal razão de utilização do MEV é a alta resolução que pode ser obtida das amostras, uma vez que é capaz de alcançar uma resolução de 1 nm (NAGATANI et al., 1987).

De acordo com estudos de Dedavid et al., 2007 a visualização da microtopografia dos biofilmes é muito importante, pois fornece a possibilidade de análise desde o início dos agregados celulares até a formação praticamente

consolidada das substâncias poliméricas extracelulares, além da observação de rugosidade dos materiais.

Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

Entende-se que a permeabilidade ao vapor de água é uma medida em que um material é penetrado facilmente pelo vapor de água. A análise de permeabilidade ao vapor de água pode ser feita conforme as normas da ASTM E96 (2000). Para tanto, amostras de filmes serão sobrepostas em células de permeação de alumínio preenchidas com sílica (UR = 0%). Para promover a diferença de pressão de vapor de água, as células de permeação serão colocadas em uma câmara de vidro contendo solução saturada de nitrato de magnésio (UR = 55% na T = 25°C). Após um período de 48 h, as cápsulas de permeação serão novamente pesadas para avaliar o ganho de massa. Para resultados mais reprodutivos a PVA dos filmes é determinada em triplicata usando a Equação:

$$PVA = \frac{w}{tA} \frac{e}{\Delta p}$$

Assim, a fórmula de PVA é composta pelos elementos:

- **w** é a massa de água que permeou através do filme (g); e representa a espessura dos filmes (mm);
- **A** é a área de permeação (m²);
- **t** representa o tempo de permeação (h);
- **Δp** é a diferença de pressão de vapor de água entre os dois lados do filme (kPa).

Para a análise de PVA, cada formulação foi analisada, pelo menos, em duplicata, e cada amostra foi caracterizada em triplicata (PHUONG et al., 2016; LUCHESE et al., 2018).

A análise de PVA é muito importante para a aplicação dos filmes de amido, mas de acordo os estudos de Sobral (2000a), esta não é uma propriedade restritiva: um material muito permeável, como é o caso dos filmes de amido, poderá ser indicado para embalagem de vegetais frescos, enquanto que um filme pouco permeável poderá ser indicado para produtos desidratados.

Tabela 04: Permeabilidade ao vapor de água de filmes biodegradáveis e sintéticos

Tipo de filme	PVA 1012 (g m⁻¹ s⁻¹ Pa⁻¹)
Amido e acetato de celulose	142
Amido de inhame:glicerol (3:1)	115
Glúten	69,7
Hidroxipropil celulose e polietileno glicol	13,7
Metilcelulose e polietileno glicol	13,6
Polietileno de baixa densidade	0,0482
Polietileno de alta densidade	0,0122
Folha de alumínio	0,000289

Fonte: MALI et al., 2010.

Na Tabela 04 é possível verificar a permeabilidade ao vapor de água de alguns filmes biodegradáveis e sintéticos. Diante dos valores, percebe-se que a permeabilidade é maior em filmes formados com biopolímeros do que nos filmes sintéticos convencionais.

Cristalinidade e microestrutura de amidos e filmes de amido nativos

A cristalinidade de amidos nativos e filmes de amido serão medidas por um difratômetro de raios X. Cada amostra é digitalizada em uma faixa de ângulo de difração de $2\theta = 5$ a 35°C usando uma taxa de varredura de $0,03^\circ/\text{s}$. A porcentagem de cristalinidade relativa será calculada como a razão da área acima de uma curva suave conectada linhas de base de pico à área total sobre o ângulo de difração de 5° a 35° (PHUONG et al., 2016; LUCHESE et al., 2018).

A cristalinidade nos filmes de amido pode ser resultado da organização estrutural residual das cadeias de amilose e amilopectina, dependente das condições de processamento que, possivelmente, não foram suficientes para destruir totalmente a organização molecular dos grânulos nativos, ou ainda, resultado do processo de recristalização ocorrido durante o seu armazenamento. O processo de recristalização acontece tanto para a amilose, quanto para a amilopectina, e tem velocidade controlada pelas condições de secagem, armazenamento dos filmes, fonte de amido e teor de amilose (VAN SOEST et al., 1996; VAN SOEST; VLIEGENTHART, 1997).

Análise da estrutura química

A análise da estrutura química é realizada através da espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR), onde os filmes a base de amido, poderão ser gravados no modo de refletância total atenuada (ATR) usando um espectrômetro Bruker Tensor 27 FTIR (Bruker, Billerica, MA, EUA), sendo registrado de 500cm^{-1} a 4000cm^{-1} (PHUONG et al., 2016; LUCHESE et al., 2018).

3.1.6. Efeitos da adição de aditivos nos filmes biodegradáveis a base de amido

Os filmes biodegradáveis à base de amido apresentam propriedades interessantes como inodoros, incolores, insípidos, não tóxicos, biodegradáveis (SOUZA et al., 2012) além de baixa permeabilidade ao oxigênio, o que é interessante para frutas pós-colheita, uma vez que o oxigênio é responsável por acelerar o processo de amadurecimento (PELLÁ et al., 2020). Por outro lado, os filmes biodegradáveis de amido apresentam alta transmissão de vapor d'água devido à sua hidrofiliabilidade, comprometendo suas propriedades mecânicas. Desta forma, a incorporação de plastificantes e / ou a formação de blendas têm sido amplamente estudadas como alternativas para melhorar seu desempenho (SOUZA et al., 2012).

Os plastificantes podem ser entendidos como substâncias criadas para suavizar os materiais aos quais são adicionados. Com alto ponto de fusão e baixa volatilidade, quando adicionados a outro material, provocam mudanças nas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (MCHUGHT & KROCHTA, 1994). Os plastificantes se apresentam em sua grande maioria de forma líquida com elevado grau de ebulição, não o impedindo de se apresentar no estado sólido e em temperatura ambiente (MALI et al., 2002)

Materiais plastificantes diversos podem ser usados em filmes, como os oligossacarídeos (glicose e sacarose), lipídeos (ácidos graxos saturados, monoglicerídeos e surfactantes) e os polióis (glicerol, sorbitol, eritritol, maltitol, manitol e lactitol) (HORN, 2012). Geralmente são moléculas pequenas, tais como polióis como sorbitol e glicerol que se intercalam entre as cadeias dos polímeros, rompendo ligações de hidrogênio, o que não só aumenta a flexibilidade, mas também a permeabilidade aos gases e ao vapor de água (CRUZ, 2018). Como

reforça Mali et al. (2005): o glicerol e o sorbitol são os plastificantes de polioliol mais amplamente utilizados para filmes à base de amido. Sua excelente capacidade de prevenir rachaduras durante o manuseio e armazenamento foi relatada; e sua eficácia é possivelmente devida à estreita semelhança entre suas estruturas químicas e a estrutura do polímero de amido.

A escolha do plastificante é essencial, visto que diferentes plastificantes assumem comportamentos distintos, e, por conseguinte, desempenhos distintos nas propriedades dos filmes nos quais estes são utilizados. Para efeito de comparação, Phuong, Vu, & Lumdubwong (2016) fizeram uso de glicerol e sorbitol como plastificantes, ambos utilizados em matriz de amido, e verificou que a cristalinidade de filmes com glicerol era superior, o que, conseqüentemente, afetou de forma expressiva, o desempenho das propriedades mecânicas do filme.

Crepaldi & Colonetti (2018) fizeram filmes a base de amido de milho variando os plastificantes entre glicerol, polietilenoglicol 400 e propilenoglicol, com percentual em peso de 15%, 20% e 30%. E constataram que a quantidade e tipo de plastificante não afetaram as características visuais dos filmes. O aumento da concentração de plastificantes na composição causou diminuição do módulo de elasticidade e aumento da deformação dos filmes. Os valores de resistência à tração e módulo de elasticidade dos filmes obtidos ficaram semelhantes aos de polietileno de baixa densidade. O plastificante gerou ainda maior perda de massa em função da temperatura quando usado em maiores quantidades.

Cao, Yang, & Fu (2009), variaram muitos plastificantes para estudar os efeitos da composição, tamanho e forma do plastificante nas propriedades mecânicas e na permeabilidade ao vapor de água dos filmes de gelatina, onde verificaram que apenas o ácido málico podia melhorar a ductilidade do filme de gelatina, e a aparência visual com essa adição deste tipo de plastificante. Além de terem variados pesos moleculares dos polietilenos glicóis, mostrando que os estes com pesos moleculares mais baixos exibiram melhor efeito plastificante para filmes de gelatina, e esses filmes tinham melhores propriedades visuais. Isso revela que o manitol e o sorbitol podem tornar os filmes de gelatina flexíveis, enquanto o homem pode cristalizar a partir do filme de gelatina.

Nos estudos de Rezaei & Motamedzadegan (2015) além de produzirem filmes de gelatina e variarem os plastificantes, adicionaram nanopartículas de argila. O que mostrou que maiores concentrações de plastificantes aumentaram o alongamento

percentual até o ponto de ruptura. Quando a concentração do glicerol foi aumentada para mais de 20%, a flexibilidade das camadas melhorou, mas a permeabilidade ao vapor de água aumentou.

A produção da mistura de amido mais álcool polivinílico (PVA) com diferentes composições foram preparados por processamento de fusão, onde mostrou resultados promissores para aplicação em material de embalagem, sendo este a flexibilidade dos filmes de mistura ainda era alta com teor de amido de 50%, com alongamento na ruptura de mais de 1000% e resistência à tração de 9 MPa, que era superior aos filmes de embalagem comumente usados em LDPE. A resistência à tração e o módulo de Young diminuíram com o aumento da UR, enquanto o alongamento na ruptura aumentou dramaticamente, indicando a flexibilidade aprimorada (TIAN et al., 2017).

Diferentes teores de bagaço de mirtilo (BP) foram incorporados em soluções formadoras de filmes de amido de mandioca (CS) para avaliar quanto a propriedades térmicas, ópticas e físico-químicas. Os filmes com incorporação de BP mostraram boas propriedades de barreira contra a luz, indicando seu efeito benéfico na prevenção da deterioração de alimentos causada pela radiação ultravioleta quando esses filmes são usados em embalagens de alimentos (LUCHESE et al., 2018).

Uma outra alternativa para melhorar as características dos filmes a base de amido é a incorporação de nanofibrilas de celulose, devido a mesma apresentar baixa afinidade pela água e melhoria das propriedades mecânicas em misturas com outros biopolímeros (SOUZA, CARVALHO, MARCONCINI, & ASCHERI, 2009).

A nanocelulose desempenha função importante como reforço em filmes biodegradáveis; Cheng et al., (2019) avaliou a performance de celulose nanofibrilada acetilada, a qual apresenta compatibilidade e dispersividade adequada para incorporação em filmes de amido, o que afetaria positivamente nas propriedades mecânicas e adesão matriz-reforço. Ilyas et al., (2019) reforçou que o uso da maior concentração de celulose nanofibrilada em filmes de amido derivado da Palmeira-do-açúcar acarretou propriedades mecânicas superiores ao filme. Assim, compreende-se que as nanofibrilas de celulosa podem ser requisitadas como reforço em filmes de amido, para função de reforço mecânico.

3.2. Filmes a base de amido de fontes não-convencionais

3.2.1. Amidos de fontes não-convencionais

Os amidos não-convencionais, são entendidos como aqueles amidos pouco usuais, principalmente pelas indústrias, alguns estão em fase de estudo, são pouco conhecidos ou ainda, podem existir os que estão no anonimato (ZHU, 2020). Exemplos desses pode ser o amido de grão de bico, de feijão comum, de cenoura peruana, de batata doce, de feijão branco, dentre outros. Oposto dos amidos convencionais como amido de mandioca, milho, batata e arroz, os quais são bastantes usuais (ALMEIDA et al., 2013).

Em estudos atuais, é possível perceber o avanço e descobertas de amidos não-convencionais e que apresentam promissoras propriedades de produção nas mais diversas áreas. Além disso, é notável como diferentes tratamentos, transformações ou incorporações permite o melhor rendimento das propriedades do amido, para quando for aplicado como matriz em filmes biodegradáveis.

O amido do fruto da pupunha (*Bactris gasipaes*) que apresentou características importantes para a sua utilização na indústria de alimentos para fabricação de embalagens biodegradáveis, pois de acordo com os testes realizados, apresentou uma temperatura de gelatinização entre 65 e 70 °C, próximo ao amido comercial. A taxa de solubilidade em água foi de 0,6119% e a taxa de absorção de água foi de 1,8252% (NETO et al., 2015).

Um amido que apresentou características interessantes para aplicação industrial foi o amido do fruto de banana (*Musa spp.*), devido apresentar níveis significativos de amilose, alta viscosidade de pico e a viscosidade final e níveis elevados de amido resistente (DE BARROS MESQUITA et al., 2016).

Comumente, considera-se comum utilizar cereais ou tubérculos como fontes de aproveitamento de amido. Todavia, muitos frutos ou seus restos podem ser potencialmente fontes de amido, como exploram Kringel et al. (2019) em seu “review”, onde atestam que restos de frutos como kiwi, abacaxi, manga, tamarindo, abacate, etc., são potenciais fontes de amido, as quais podem ser devidamente reaproveitadas e utilizadas de forma benéfica, visto que agregaria valor a um resíduo, além do baixo custo envolvido.

A ervilha, embora um legume popularmente conhecido, é uma fonte viável de amido, em função da quantidade de amilose (em torno de 35%), o que permite a

capacidade da formação de filmes, sendo assim, ideal para uso no mercado de filmes biodegradáveis. Como tratamentos químicos são comumente designados para grânulos de amidos, a fim de aprimorar suas propriedades ou reparar suas limitações. Zhang et al. (2019) propuseram a análise das propriedades físico-químicas de amido da ervilha modificado por hidrólise ácida, a fim de verificar seu desempenho. Observou-se a partir disso, aumento da resistência à tração e cristalinidade, sem alterar o peso molecular da amilose. Isso reforçou que esta pode ser uma fonte segura de grânulos de amido usados para formar filmes, especialmente pós-tratamento.

Naseri et al. (2019) verificaram a eficácia de um tratamento físico-químico no amido proveniente do sagu, com base no aperfeiçoamento de suas propriedades. O tratamento, realizado com ácido ferúlico e cloreto de cálcio, permitiu o aumento do desempenho de inúmeras propriedades do amido, tais como solubilidade em água, absorção em água, permeabilidade à vapor de água, alongamento de ruptura e transparência. Isso sugere que o uso de tratamentos em amido pode ser viável para quando estes forem utilizados como matriz em filmes biodegradáveis, o que pode solucionar algumas limitações comuns do uso do amido nesse campo.

Singh et al (2019) realizou a modificação do amido do feijão do orvalho (*Vigna aconitifolia*) sob aquecimento à seco com orgânicos ácidos, o que propiciou o aumento da cristalinidade e aprimoramento de propriedades reológicas do amido, os quais são benefícios consideráveis para uso desse material como matriz em filmes.

É importante salientar que mesmo amidos de fontes conhecidas, inúmeras vezes podem apresentar diferentes propriedades de acordo com a região de origem, e muitas vezes, muitas dessas fontes provenientes de locais com clima e solo específicos não são caracterizados, porém que devem ser devidamente examinados. Calliope et al. (2019) realizaram uma caracterização físico-química e funcional em uma variedade de genótipos de amido da batata, esta oriunda de uma região da Argentina. Ao passo que alguns genótipos apresentaram elevado inchamento, outros desempenharam propriedades mecânicas superiores, enquanto outros possuíam maior teor de amilose. A variedade de espécies andinas caracterizadas mostrou que seu amido pode ser funcional para uso em produtos alimentícios ou não-alimentícios, como embalagens.

Alam et al. (2020) realizaram a incorporação de polissacarídeos no amido, a fim de atestar o efeito nas propriedades de gelatinização e de viscosidade do amido

resultante. Para o trabalho, a fonte escolhida para obtenção do amido foi o Taro (*Colocasia esculenta*), um tubérculo pouco explorado, mas que agrega a vantagem de possuir elevado teor de amido (entre 70 a 80%) e propriedades diferentes de outros tipos de amidos, no que diz respeito à viscosidade e capacidade de formar gel.

Grânulos de amido provenientes da medula da Palmeira-do-açúcar (*Arenga pinnata*) foram separados em maiores e menores tamanhos, e posteriormente, devidamente caracterizados. Os grânulos mais largos exibiram maior índice de cristalinidade, e conseqüentemente, estrutura mais ordenada, além de maior viscosidade, temperatura e entalpia de gelatinização, o que demonstra potencial adequado para processabilidade, como em aplicações como matriz de filmes (MEI et al., 2020).

O uso do amido do mesocarpo do fruto da pupunha (*Bactris gasipaes*), extraído com o objetivo de promover seu uso regional mostrou que este pode ser utilizado em produtos que precisa de uma retrogradação lenta e suave, como pães, sopas e mingaus, sem o uso de emulsificantes ou gorduras (FERRARI FELISBERTO et al., 2020).

Amidos e farinhas que são muito usados na Ásia como (tapioca, batata doce, sagu, castanha d'água e amido de milho rico em amilose, arroz vermelho e farinha de kithul) foram caracterizados quanto à sua composição química, morfológica, funcional, pastosa, térmica, gelificante e em propriedades de digestibilidade *in vitro*. Após os testes foi possível obter que a farinha de kithul tinha uma taxa de digestão significativamente menor do que as outras amostras (exceto para amido de milho com alto teor de amilose) tinha uma temperatura de gelatinização que poderia ser alcançada durante o cozimento e tinha boas propriedades de gelificação (GRACE, et al., 2020).

O amido extraído da semente de juçara (*Euterpe edulis Mart*) (JS) foi caracterizado em dados de composição aproximada, cristalinidade, perfil térmico, morfologia e umidade de equilíbrio. Conteúdo fenólico total, conteúdo de antocianinas e *in vitro* capacidade antioxidante foi avaliada para o bagaço de juçara sem sementes (JSP). O bagaço sem sementes da polpa mostrou-se um material rico, podendo ser utilizado para extração de corantes naturais ou produção de compostos com propriedades biológicas. O JSS apresentou propriedades

tecnológicas adequadas para ser empregado como fonte alternativa de amido não convencional (CARPINÉ et al., 2020).

A capacidade de forma espuma também pode ser uma característica viável para alguns tipos de amido, como é o caso do amido da batata doce. Cruz-Tirado et al. (2020) caracterizou as propriedades de uma espuma à base do amido da batata doce incorporado com tomilho e do orégano, e verificou a eficácia do amido na formação de espumas por termoprensagem, a qual também exhibe propriedades mecânicas e antimicrobianas quando incorporada com os óleos.

3.2.2. Recentes aplicações de amidos de fontes não-convencionais em filmes

Dentre as principais fontes de amido já utilizadas como matriz em filmes destacam-se grãos de sementes, como milho, arroz, aveia, trigo e milho, e raízes, como a mandioca e a batata. Entretanto, a busca valorização do uso de novas fontes ou fontes alternativas de amido se relaciona, especialmente, com a pluralidade de fontes de obtenção, o que envolve inúmeras fontes vegetais e frutíferas, além de diversos componentes que comumente não possuem destinação adequada, como a casca, o caroço, etc (MALI et al., 2010; LUCHESE et al., 2018).

Recentes pesquisas salientam o uso de amido para produção de biofilmes poliméricos, em função do desempenho notório de suas propriedades obtidas. Além disso, a gama de fontes disponíveis para uso reforça a popularidade do material como fonte de matriz, especialmente por seu caráter sustentável e renovável, visto que suas fontes são majoritariamente naturais.

É possível verificar a partir dos dados e levantamentos de pesquisas coletados com trabalho, que o amido compreende ótimas características para produção de filmes biodegradáveis, sendo estes filmes considerados ecologicamente corretos, por sua degradabilidade não afetar o meio ambiente, quando exposto ao mesmo. As desvantagens que o amido apresenta podem ser supridas por outros meios, como a adição de plastificantes em destaque o glicerol e sorbitol.

Além disso, observou-se que o uso de outros aditivos na composição do filme, como extratos ou óleos essenciais, além da aplicação de tratamentos no próprio amido podem ser opções comuns para solucionar os problemas mais comuns gerados pelas propriedades de filmes de amido. Abaixo, busca-se citar o uso de

diferentes fontes de amidos utilizadas para um bem-comum: obter amido que possa ser utilizado para produção de filmes biodegradáveis. Esses filmes produzidos são comumente incorporados com aditivos ou reforços, buscando aprimorar as propriedades do filme de amido, ou conferir uma propriedade específica que qualifique os filmes no ramo de embalagens ativas ou inteligentes (MALI et al., 2010; NETO et al., 2015).

Uma proposta para melhorar as propriedades mecânicas do polímero à base de amido é a incorporação de outros materiais foi incorporando nanocelulose extraída de cacho de frutos vazios de dendê (*Elaeis guineensis*). Onde apesar de ter apresentado desvantagem na porcentagem de alongamento, uma adição de 2% de nanofibra de celulose é a melhor proporção que poderia melhorar as propriedades mecânicas do biopolímero à base de amido (SALEHUDIN et al., 2014).

Amido extraído da manga - O amido extraído da polpa da manga foi usado como material de revestimento, a fim de prolongar a vida útil dos tomates frescos. Com base nos resultados e na investigação de parâmetros físico-químicos, constatou-se que o uso desse revestimento retardou o processo de amadurecimento dos tomates, reduziu a perda de peso e aprimorou firmeza das frutas (NAWAB; ALAM; HASNAIN, 2017).

Amido derivado da mandioca - A produção de filmes de amido derivado da mandioca, com incorporação de nanocelulose oriunda do coco, constatou-se que os filmes produzidos apresentaram desempenho desejado para serem aplicados como embalagem alimentícia, em função das propriedades físicas e mecânicas obtidas (LEAL et al., 2019).

Carboximetilcelulose e amido comercial - Chen et al. (2019) utilizaram Carboximetilcelulose e amido comercial para a produção de um filme antibacteriano e, com base em seus resultados, concluíram que a presença do amido no filme ampliou o desempenho mecânico dos filmes. Esse desempenho mecânico também foi observado em filmes antibacterianos com amido derivado do inhame e eugenol, quando estes solicitados para aplicação em embalagens de carne suína (CHENG et al., 2019).

A concentração de amido incorporada em filmes também exerce influência nas suas propriedades. Lekube et al. (2019) ressalta que as propriedades mecânicas e ópticas de um filme parcialmente biodegradável (o qual, nesse trabalho, é produzido

como uma blenda entre PBAT e amido termoplástico), são aperfeiçoadas, quando a proporção de amido utilizada é aumentada.

Amido de inhame - Saiful et al. (2019) fizeram uso do amido do inhame indiano de três-folha (*Dioscorea Hispida*) para produção de biofilmes, visando aplicação em embalagens para fatias de tomate e maçã. Além da capacidade de ser cultivado em diferentes tipos de solo e do elevado teor de amido, o uso dessa fonte foi incentivado, em função das propriedades concebidas ao biofilme, como o desempenho mecânico adequado e capacidade de atuar como barreira física para os alimentos. Chairul Amni et al. (2020) também utilizou o amido da mesma fonte, porém utilizando partículas de óxido de zinco como reforço, cuja combinação permitiu boas propriedades, com menor tempo de degradação e maior resistência térmica para os filmes.

Amido da goma deguar e amido de sagu - Dhumal (2019) produziu um filme comestível bifásico a partir da goma de guar e amido do sagu, contendo óleo essencial de carvacrol e citral. A vantagem do uso dessa fonte de amido se relacionou ao baixo custo de obtenção e cristalinidade conferida à superfície do filme. Com base em tais combinações de matriz e óleos, foi possível obter filmes com excelentes atividades antimicrobianas.

Amido de Camu Camu - O amido do Teff (*Eragrostis tef*), famoso cereal de origem etíópia, também foi utilizado como matriz de filmes contendo extrato de Camu Camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh). Apesar de pouco explorado, o teff possui uma reserva considerável de amido (em torno de 73%) e uma quantidade suficiente de amilose para torna-lo ideal para formação de filmes. Além do caráter biodegradável, a presença desse amido auxiliou no desempenho mecânico dos filmes, e a combinação com o extrato propiciou a formação de um filme com caráter antioxidante, o que poderia ser viável para aplicação em embalagens alimentícias (JU & SONG, 2019).

Amido de centeio - O centeio, embora seja um cereal relativamente conhecido, não é comumente explorado como fonte de amido para uso em filmes biodegradáveis. Go & Song (2019) utilizaram o amido do centeio para produção de filmes contendo extrato do cinórrodo/rosa mosqueta. Visando aplicação no campo alimentício, o filme permitiu a retardação da oxidação lipídica em alimentos, especialmente peito de frango. A taxa de amido encontrada no centeio e a quantidade de amilose que permitiu gelatinização em baixas temperaturas tornou

essa fonte de amido promissora, além de permitir a formação de filmes flexíveis e com propriedades de barreira, quando combinado ao extrato.

Amido de feijão-de-corda - Baek (2019) utilizou amido do feijão-de-corda (até então não utilizado em biofilmes, apesar do teor considerável de amido na fonte) contendo extrato da amora chilena, visando aplicação como embalagem alimentícia para salmões. Os resultados dessa combinação foram satisfatórios, visto que os filmes exibiram propriedades antioxidantes satisfatórias, reduzido a atividade oxidativa na superfície do alimento.

Amido de jícama - Abrial et al. (2019) fizeram uso do amido proveniente da jícama (*Pachyrhizus erosus*) para produção de filmes biodegradáveis. Agregando na busca por novas e pouco exploradas fontes de amido, a pesquisa ressaltou a eficiência do amido dessa fonte pouco conhecida, extraído do seu tubérculo, obtendo filmes com boas propriedades físicas e mecânicas, em função do tipo de método de produção utilizado e do tamanho de partícula do grânulo de amido.

Amido do tronco da palmeira-do-açúcar - Miksusanti et al. (2019) utilizou o amido extraído do tronco da palmeira-do-açúcar para ser utilizado como matriz em filme comestível contendo tripolifosfato de sódio (TPF) e *curcuma zedoaria*, enzima de amilase obtida a partir da saliva e de bactéria. A presença do TPF resultou no aumento da resistência mecânica do filme, e a enzima propiciou a eficácia da atividade antimicrobiana dos filmes.

Amido de batata - A combinação de dois ou mais polímeros permite a obtenção de novos materiais com melhores propriedades funcionais. Misturas em diferentes proporções (0-60%) de álcool polivinílico (PVOH) foram adicionadas ao amido de batata. A adição de PVOH favoreceu significativamente as propriedades funcionais, melhorou a permeabilidade aos gases e as propriedades mecânicas dos filmes de amido de batata. O PVOH resultou em filmes de amido de batata com propriedades adequadas para possíveis aplicações em embalagens de alimentos e como alternativa biodegradável para substituição de materiais sintéticos de embalagens (GÓMEZ-ALDAPA et al., 2020).

Foi avaliado o efeito sinérgico do óleo essencial de carvacrol (EO) e montmorilonita (MMT) (denominado composto híbrido), incorporados em filmes de amido termoplástico (TPS) em diferentes teores (4,5, 9 e 15% em peso). Os resultados demonstraram que um composto híbrido é uma boa opção para filmes

antimicrobianos de amido para alimentos *in natura*, como frutas e vegetais (DE SOUZA et al., 2020).

O desenvolvimento de filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca acetilado (ACS) e hidroxietilcelulose (HEC) poderia ser uma alternativa para aumentar o prazo de validade de goiabas (*Psidium guajava*L.). Após os testes realizados, foi possível obter que os filmes à base de ACS e HEC possam aumentar a vida útil das goiabas, além de diminuir os impactos ambientais de embalagens não biodegradáveis (FRANCISCO et al., 2020).

Nanofilmes biodegradáveis à base de amido foram desenvolvidos por extrato de cúrcuma longa (CC), silsesquioxano oligomérico octafenil-poliédrico (POSS), extrato de alho com propriedades antibacterianas (GC) e nanopartículas de argila. Os resultados da análise de migração mostraram que o nanofilme sintetizado é adequado para uso na embalagem de todos os produtos alimentícios, como laticínios, alimentos gordurosos, líquidos, ácidos e secos (BAYSAL & DOĞAN, 2020).

Amido do feijão-da-Chinae glucomanan - Fang et al. (2020) produziram filmes de blenda de amido do feijão-da-China e glucomanan, além de filmes isolados com esses materiais, a fim de atestar a eficácia das propriedades da blenda. Os autores atestaram que os resultados das propriedades mecânicas e de barreira da blenda, quando comparado aos filmes dos materiais isoladamente, foram eficazes para viabilizar o uso da blenda como revestimento para embalagens de alimentos.

Amido do arroz de jasmim - Limpongsa & Jaipakdee (2020) produziram filmes à base do amido do arroz de jasmim (*Oryza sativa* L.), sendo este amido quimicamente e mecanicamente tratado. Objetivou-se produzir filmes de natureza orodispersível, e com isso, os autores obtiveram filmes com propriedades de flexibilidade desejáveis, e o adequado uso do tratamento mecânico no amido (por meio da redução do tamanho de partícula em moinho de bolas) mostra sua capacidade em ser utilizado em filmes orodispersíveis.

Amido de batata doce - Ballesteros-Mártinex et al (2020) produziram filmes à base do amido da batata doce, verificando a influência de diferentes plastificantes nas propriedades de barreira do filme. A batata doce mostra-se uma fonte viável para amido (em torno de 60% em peso), contendo porções significativas de amilose, o que viabiliza seu uso para formação de filmes. Os resultados destacam o glicerol como plastificante mais adequado para algumas propriedades de barreira do filme,

como permeabilidade a vapor de água, e propriedades mecânicas. O autor destaca potencial do filme para uso como revestimento em vegetais e frutas frescas, além de embalagens de doces.

Amido de feijão-da-China - Lee et al. (2020) constataram a eficácia do uso de amido proveniente do feijão-da-China (*Vigna Radiata*) na produção de filmes comestíveis incorporados com óleo da semente de girassol. De forma geral, o amido desse legume possui quantidades superiores de amilose quando comparado à outras fontes de amido, o que influenciou diretamente no melhor desempenho das propriedades mecânicas do filme. A combinação da matriz de amido com o óleo permitiu a produção de um filme com elevada resistência à água, demonstrando sua potencialidade de uso na indústria de embalagens.

Em suma, a pesquisa científica tem mostrado interesse não apenas no uso de novas fontes de amido, mas como estas também podem se adequar a novas tecnologias, técnicas de aprimoramento de propriedades, de forma que o amido seja sempre uma escolha viável, mesmo diante de suas limitações. Sendo assim, torna-se possível aproveitar o grande leque de possibilidades de fontes de uso que a natureza oferece.

A literatura aponta um futuro promissor para o uso de filmes biodegradáveis com matriz de amido, seja que qual fonte obtida. Estes podem ser, de forma geral, essenciais para uso na aplicação de diversas áreas, como o setor de embalagens alimentícias, em função de seu desempenho físico e mecânico.

3.2.3. Patentes mais recentes de filmes de amidos não convencionais

Nos últimos anos, especificamente entre 2019 e 2020, alguns trabalhos sobre filmes biodegradáveis, amidos e filmes de amidos foram patenteados, estão listados na Tabela 05. Isso mostra que muito se tem avançado nas pesquisas a respeito do tema.

Tabela 05: Patentes mais recentes sobre filmes de amido

Título	Data da publicação internacional	Número da patente
Improved starch based biodegradable polymers	06.08.2020	WO 2020/156862 AI
Carrageenan-based compositions for films and capsules	14.07.2020	US 10,711,119 B2

Packaging film and pouch container	20.08.2020	WO 2020/166685 AI
Starch compositions	03.09.2020	WO 2020/172722 AI
Aqueous monodisperse starch-gold nanoparticles and process for producing the same	13.08.2020	WO 2020/162768 AI
Starch based reactor, resultant products, and methods and processes relating thereto	20.08.2020	US 2020/0262982 AI
Film-grade starch-based composite material and preparation method thereof	18.02.2020	CN H0804216 A
Bio-based and biodegradable polymer	28.05.2019	US 10,301,470 B2
Degradable and easy-to-print packaging film and production method thereof	18.06.2019	CN 109895468 A

Fonte: Spacenet, 2020.

As patentes apresentadas na Tabela 5, em geral apresentam desenvolvimentos de trabalhos com filmes biodegradáveis e amidos. Como por exemplo, o trabalho titulado “Polímero de base biológica e biodegradável”, que retrata o uso do amido termoplástico de forma co-contínua ou contínua e pelo menos um polímero que provém de uma dispersão estável do polímero em água ou látex. Isso aumenta o teor de amido termoplástico e, assim, diminui o polímero biodegradável e obtém filmes de maior largura por extrusão por sopro, com propriedades de tração semelhantes. Isso proporciona a vantagem adicional de menor custo com matéria-prima, menor impacto ao meio ambiente e maior produção.

Em outra invenção titulada “Melhorados polímeros biodegradáveis à base de amido”, teve o intuito de melhorar polímeros tais como o polímero de amido termoplástico (TPS), com formulações derivadas de colofônia de goma de modo que a composição biodegradável à base de amido resultante apresentasse propriedades de processabilidade, mecânicas, microestruturais e térmicas melhoradas. Logo os resultados mostraram que a composição biodegradável à base de amido melhoradas, são especialmente adequadas para várias aplicações industriais, tais como, indústria de embalagens de alimentos, filmes de cobertura agrícola ou plástico de estufa e/ou produtos descartáveis para usos higiênicos e etc.

4. METODOLOGIA

O estudo na área de ciências biológica aborda a temática “amidos de fontes não convencionais e sua aplicação em filmes biodegradáveis” e se apoiou na intenção de apresentar uma revisão bibliográfica sobre filmes biodegradáveis a base de amidos não convencionais, abordando algumas patentes mais atuais acerca do tema, e como a comunidade científica procura explorar seu uso.

De acordo com os fins do estudo, a pesquisa de natureza **básica** caracterizada pela “produção de novos conhecimentos, úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista” (SILVA, 2010) se classificou como **Qualitativa**. “A pesquisa Qualitativa considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzida em números” (SILVA, 2010), neste caso, responder a uma inquietação acerca da produção de amido utilizando produtos regionais.

A pesquisa se deu em uma **abordagem indutiva** quando partiu de uma realidade específica para uma análise geral, recorrendo, por via da leitura, a diferentes autores/obras, como propunha a pesquisa bibliográfica. De forma que dentre os referenciais utilizados destacam-se as obras de Mali (2005 a 2010) e Luchese (2018), que tratam sobre Amidos, com muita propriedade, desde a conceituação até a produção dos filmes.

Assim, os caminhos percorridos na construção deste material correspondem às técnicas relativas a pesquisa bibliográfica: seleção de artigos, monografias, teses e revius, que resultaram em 200 fontes, das quais fora feito a leitura e fichamento de 160 a 170 obras em material físico e virtual, conforme o elencado na referência bibliográfica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo dos filmes de amido torna-se viável para o campo científico porque reforça a importância dessa proposta para o cuidado contribuindo para a redução da degradação do meio ambiente e por conseguinte para a vida no planeta.

Conforme traçado *a priori* o estudo foi satisfatório porque alcançou o objetivo proposto apresentando uma revisão bibliográfica sobre filmes biodegradáveis a base

de amidos não convencionais, abordando algumas patentes mais atuais acerca do tema e mostrando como a comunidade científica vem explorando seu uso. De forma, que os resultados obtidos pela pesquisa compreendem três aspectos pertinentes ao tema em questão:

1. Referente aos filmes biodegradáveis produzidos com amido, o estudo comprovou que há uma série de produtos naturais sendo utilizados nessa produção, classificados cientificamente como convencional (milho, batata, aveia, mandioca), e não-convencionais (*Amido de feijão-da-China, feijão-da-Chinae glucomanan, feijão-de-corda*). Fica evidente, que de acordo com a origem dos produtos, o custo na produção dos biofilmes é de baixo custo, o que reforça a possibilidade de avanço dessas propostas devido ao acesso a essas matérias-primas.

Vale ressaltar que entre esses amidos, o amido da pupunha – um produto regional próprio da Amazônia – ocupa destaque nos estudos recentes, como defende Ferrari Felisberto (2020). A pupunha, por sua vez, é um produto cultivado na região amazônica, de fácil acesso e com um baixo custo, até o momento pouco explorado para fins científicos como trata esta pesquisa, utilizada apenas como alimento.

2. No que concerne a comparação feita nos efeitos causados por aditivos nos filmes biodegradáveis de amido, o estudo evidenciou que de acordo com as propriedades dos aditivos, os resultados podem ser diferentes, melhorando as propriedades dos filmes. De um modo geral apresentam-se:

a) os filmes contendo somente amido e plastificante apresentam boa qualidade para aplicações em embalagens, paralelo a defasagem em algumas propriedades, como as propriedades mecânicas e permeabilidade ao vapor de água;

b) a adição de aditivos como nanocelulose, nanofibras e álcool polivinílico, entre outros, citados no referencial deste material, podem ajudar a melhorar as propriedades dos filmes para diversas aplicações, como embalagens biodegradáveis de alimentos.

3. Os filmes biodegradáveis de amido em meio ao uso de filmes sintéticos são importantes porque pode contribuir significativamente no combate a degradação do meio ambiente, uma vez que substituem o uso exacerbado de embalagens - sacolas plásticas e descartáveis – agentes responsáveis por grande parcela da degradação ambiental devido ao tempo que levam para se decompor. As embalagens são importantes na conservação dos alimentos, pois atuam como barreira de proteção

contra os impactos físicos, na prevenção de contaminações, no aumento da vida de prateleira, e no repasse de informações sobre o alimento embalado ao consumidor.

Pensar na proposta de substituição das embalagens pelos biofilmes reflete nas vantagens do uso desse recurso, seja pela facilidade da matéria-prima ou pelo baixo custo na sua produção, como defende Zhong (2020), já citado. Diante do quadro atual de degradação do meio, não há proposta mais viável e de recondução que o uso dos biofilmes no mercado. No entanto, estudos que comprovam essa verdade ainda permanecem nos campos de estudo, haja vista que a produção de biofilmes esbarra na força do mercado do consumismo, que pouco se importa com o meio e com a responsabilidade ambiental.

Atinente ao custo na produção dos biofilmes não há muito que se discutir quanto a matéria-prima, pois é visível a riqueza de produtos na Amazônia, que podem ser inclusos na listagem dos biofilmes, o que intensifica a proposta de estudos na área visando a descoberta de outros produtos que venham a somar aos já existentes.

6. CONCLUSÃO

Fazendo-se uma análise acerca dos resultados da investigação é possível concluir a partir das informações levantadas, que o amido compreende ótimas características para produção de filmes biodegradáveis. Em especial, a inesgotável quantidade de fontes disponíveis para obtenção de amido torna este um material indispensável para exploração, especialmente por conta do baixo preço e abundância em meio natural.

Ainda assim, é notável que, para escala industrial, ainda são limitadas as suas aplicações, devido alguns fatores, como suas barreiras de oxigênio/vapor de água, resistência térmica e outras propriedades mecânicas relacionadas com custos. Com essas limitações os polímeros não biodegradáveis tornam-se os materiais mais usados para embalagens.

Atinente, as desvantagens que o amido apresenta podem ser supridas por outros meios, como a adição de plastificantes ou o uso de outros aditivos na composição do filme, como extratos ou óleos essenciais, além da aplicação de tratamentos no próprio amido. Além disso, os compósitos de polímeros

biodegradáveis constituídos por amido/fibras de celulose têm maior probabilidade de avanço nas aplicações. Sendo assim, a pesquisa científica tem mostrado como é possível viabilizar o uso do grande leque de possibilidades de fontes de uso que a natureza oferece.

Com isso torna-se viável intensificar mais pesquisas que contribuam para as indústrias suprirem essas limitações, fazendo com que melhore a qualidade dos filmes biodegradáveis.

REFERÊNCIAS

- AAF. AAF position on Trade and Competitiveness. Association des Amidonniers et Féculiers / European Starch Industry Association, 2013.
- ABDUL KHALIL, H. P. S. et al. Seaweed based sustainable films and composites for food and pharmaceutical applications: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 77, n. September 2016, p. 353–362, 2017.
- ABRAL, H., SATRIA, R. S., MAHARDIKA, M., HAFIZULHAQ, F., AFFI, J., ASROFI, M., ... MUSLIMIN, A. N. Comparative study of the physical and tensile properties of jicama (*Pachyrhizus erosus*) starch film prepared using three different methods. **Starch - Stärke**, 1800224, 2019.
- ALAM, F., NAWAB, A., LUTFI, Z., & HAIDER, S. Z. Effect of Non-Starch Polysaccharides on the Pasting, Gel and Gelation Properties of Taro (*Colocasia esculenta*) Starch. **Starch - Stärke**, 2000063, 2020.
- ALMEIDA, E. L.; MARANGONI, A. L.; STEEL, C. J. Starches from non - conventional sources to improve the technological characteristics of pound cake. **Ciência Rural**, v. 43, n. 11, p. 2101–2108, 2013.
- ALVES LOPES, I. et al. Elaboration and characterization of biopolymer films with alginate and babassu coconut mesocarp. **Carbohydrate Polymers**, v. 234, n. December 2019, p. 115747, 2020.
- ALVES, R. M. L.; GROSSMANN, M. V. E.; SILVA, R. S. S. F. Pre – gelatinized starch of *Dioscorea alata* – functional properties. **Food Chemistry**, Oxon, v. 67, n. 2, p.1 23-127, 1999.
- ASTM - American Society for Testing and Materials – Mechanical Properties - D882; Annual Book of ASTM Standards, ASTM: Philadelphia. 2012.
- ASTM - american society for testing and materials – Standard test method for tensile properties of plastic (metric), D638M-93. Annual book of ASTM, Philadelphia, 1993.
- ASTM - American Society for Testing and Materials – Water Vapour Permeability (WVP) - E96; Annual Book of ASTM Standards, ASTM: Philadelphia. 2000.
- BADER, H. G.; GÖRITZ, D. Investigations on high amylose corn starch films. Part 1: Wide angle X-ray scattering (WAXS). **Starch/Stärke, Weinheim**, v. 46, n. 6, p. 229-232, 1994a.
- _____. Investigations on high amylose corn starch films. Part 2: Water vapor sorption. **Starch/Stärke, Weinheim**, v. 46, n. 7, p. 249-252, 1994b.
- _____. Investigations on high amylose corn starch films. Part 3: Stress strain behavior. **Starch/Stärke, Weinheim**, v. 46, n. 11, p. 435-439, 1994c.
- BAEK, S. K., KIM, S., & SONG, K. B. Cowpea starch films containing maqui berry extract and their application in salmon packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, 22, 100394, 2019.
- BALLESTEROS-MÁRTINEZ, L., PÉREZ-CERVERA, C., & ANDRADE-PIZARRO, R. Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. **NFS Journal**, 20, 1–9, 2020.

- BAYSAL, G.; DOĞAN, F. Investigation and preparation of biodegradable starch-based nanofilms for potential use of curcumin and garlic in food packaging applications. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, v. 31, n. 9, p. 1127–1143, 2020.
- BERTOFT, E., et al. Small differences in amylopectin fine structure may explain large functional differences of starch. **Carbohydrate Polymers**, 140, 113–121. 2016.
- BOTELHO, J. N. et al. Enamel and dentine demineralization by a combination of starch and sucrose in a biofilm - caries model. **Brazilian oral research**, v. 30, n. 1, p. 1–8, 2016.
- BRESSANIN, Helton Rodrigo Citá. Bioplásticos a partir de amidos. São Paulo: FEMA, 2010.
- CALLIOPE, S., WAGNER, J., & SAMMAN, N. Physicochemical and Functional Characterization of Potato Starch (*Solanum Tuberosum* Spp. Andigenum) from the Quebrada De Humahuaca, Argentina. **Starch - Stärke**, 1900069, 2019.
- CANEVAROLO, S. V. J. Ciências dos polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2. ed. São Paulo: **Artliber**. 2002.
- CAO, N., YANG, X., & FU, Y. Food Hydrocolloids Effects of various plasticizers on mechanical and water vapor barrier properties of gelatin films. **Food Hydrocolloids**, 23(3), 729–735. 2009.
- CARPINÉ, D. et al. Valorization of *Euterpe edulis* Mart. agroindustrial residues (pomace and seeds) as sources of unconventional starch and bioactive compounds. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 1, p. 96–104, 2020.
- CASTRO, L. M. G. et al. Impact of high pressure on starch properties: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 106, n. October 2019, p. 105877, 2020.
- CHAIRUL AMNI, I., SRI APRILA, M., SAID ALI AKBAR. Mechanical properties of bioplastics janeng starch (*Dioscorea hispida*) film with glycerol and zinc oxide as reinforcement. *Rasayan Journal of Chemistry*, Vol. 13 (1), 275-281, 2020.
- CHEN, J., LI, H., FANG, C., CHENG, Y., TAN, T., & HAN, H. In situ synthesis and properties of Ag NPs/carboxymethyl cellulose/starch composite films for antibacterial application. **Polymer Composites**, (August), 1–10. 2019.
- CHENG, J., WANG, H., KANG, S., XIA, L., JIANG, S., CHEN, M., & JIANG, S. An active packaging film based on yam starch with eugenol and its application for pork preservation. **Food Hydrocolloids**, 96(March), 546–554. 2019.
- COLMAN, T. et al. Characterization of wheat starch by thermoanalytical, rheological and atomic force microscopy techniques. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**. v. 1, n. 1, December 2015, 2016.
- COSTA, Yanna Dias. Amido. São Paulo: Unicamp, 2012. Disponível em <https://www.infoescola.com/bioquimica/amido/> - Acesso em 20/12/2020.
- CREPALDI, I., COLONETTI, E., & RESUMO, A. Produção e caracterização de filmes plásticos a base de amido de milho e álcool polivinílico , com diferentes plastificantes. **TCC**, 1–8. 2018.
- CRUZ, W. F. da. Aplicação e avaliação de biopolímeros de amido e gelatina como revestimento em materiais de embalagens. **Tese**. Campinas - SP. 2018.

- CRUZ-TIRADO, J. P., BARROS FERREIRA, R. S., LIZÁRRAGA, E., TAPIA-BLÁCIDO, D. R., SILVA, N. C. C., ANGELATS-SILVA, L., & SICHE, R. Bioactive Andean sweet potato starch-based foam incorporated with oregano or thyme essential oil. **Food Packaging and Shelf Life**, 23, 100457, 2020.
- CUQ, B.; GONTARD, N.; GUILBERT, S. Edible films and coatings as active layers. In: ROONEY, M. L (Ed.). **Active Food Packaging**. London (UK): Chapman & Hall, p. 111-142. 1995.
- DAMAT, D. et al. Modified arrowroot starch and glucomannan for preserving physicochemical properties of sweet bread. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. 1–9, 2020.
- DATTA, D.; HALDER, G. Effect of media on degradability, physico-mechanical and optical properties of synthesized polyolefinic and PLA film in comparison with casted potato/corn starch biofilm. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 124, p. 39–62, 2019.
- DE BARROS MESQUITA, C. et al. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 89, p. 632–639, 2016.
- DEDAVID, B. A. et al. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- DE SOUZA, A. G. et al. Synergic antimicrobial properties of Carvacrol essential oil and montmorillonite in biodegradable starch films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 1737–1747, 2020.
- DHUMAL, C. V., AHMED, J., BANDARA, N., & SARKAR, P. Improvement of antimicrobial activity of sago starch/guar gum bi-phasic edible films by incorporating carvacrol and citral. **Food Packaging and Shelf Life**, 21, 100380, 2019.
- DOU, L. et al. Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenols. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 118, p. 1377–1383, 2018.
- DURANGO, M. A. et al. Filmes y revestimientos comestibles como empaques activos biodegradables en la conservación de alimentos. **Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial**. v. 9, n. 1, enero – junio, p 112-118, 2011.
- ESPITIA P.J.P., DU W.-X, AVENA-BUSTILLOS R.D.J., SOARES N.D.F.F., MC HUGH T.H. Optimal antimicrobial formulation and physical–mechanical properties of edible films based on Açaí and pectin for food preservation. **Food Hydrocoll.** 35, 287. 2014b.
- FANG, Y., WANG, W., QIAN, H., WU, K., XIAO, M., NI, X., ... CHEN, S. Regular Film Property Changes of Konjac Glucomannan/Mung bean Starch Blend Films. **Starch - Stärke**, 1900149, 2020.
- FERNANDEZ, C. et al. Size, structure and scaling relationships in glycogen from various sources investigated with asymmetrical flow field-flow fractionation and ¹H NMR. **International Journal of Biological Macromolecules**, 49(4), 458–465, 2011.
- FERRARI FELISBERTO, M. H. et al. Characterization and technological properties of peach palm (*Bactris gasipaes* var. *gasipaes*) fruit starch. **Food Research International**, v. 136, p. 109569, 2020.

FISHMAN, M. L., COFFIN, D. R., ONWULATA, C. I., & KONSTANCE, R. P. Extrusion of pectin and glycerol with various combinations of orange albedo and starch. **Carbohydrate Polymers**, 57, 401–413. 2004.

FRANCHETTI, S. M. M. et al. Biodegradable polymers – a partial way for decreasing the amount of plastic waste. **Química Nova**, 2006.

FRANCISCO, C. B. et al. Shelf-life of guavas coated with biodegradable starch and cellulose-based films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 272–279, 2020.

FUENTES, C. et al. Characterization of molecular properties of wheat starch from three different types of breads using asymmetric flow field-flow fractionation (AF4). **Food Chemistry**, v. 298, n. April, 2019.

GARCIA, M. A. Desarrollo de recubrimientos de matriz amilósica para vegetales. **Tese (Doutorado)** – Departamento de Química, Facultad de Ciências Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 1999.

GO, E. J., & SONG, K. BIN. Antioxidant properties of rye starch films containing rosehip extract and their application in packaging of chicken breast. **Starch/Stärke**, 71(11–12), 1–8. 2019.

GÓMEZ-ALDAPA, C. A. et al. Effect of polyvinyl alcohol on the physicochemical properties of biodegradable starch films. **Materials Chemistry and Physics**, v. 239, n. May 2019, 2020.

GRACE, N. C. F.; HENRY, C. J. The physicochemical characterization of unconventional starches and flours used in Asia. **Foods**, v. 9, n. 2, p. 1–12, 2020.

HERNANDEZ-IZQUIERDO, V. and KROCHTA. Thermoplastic processing of proteins for film formation: A Review. **Journal of Food Science**. v. 73, n. 2, p. 30–39, 2008.

HORN, M. M. Blendas e filmes de quitosana/amido de milho: estudo da influência da adição de polióis, oxidação do amido e razão amilose/amilopectina nas suas propriedades. p. 147, 2012.

HU, X. et al. Modification of potato starch by using superheated steam. **Carbohydrate Polymers**, v. 198, n. April, p. 375–384, 2018.

ILYAS, R. A., SAPUAN, S. M., IBRAHIM, R., ABRAL, H., ISHAK, M. R., ZAINUDIN, E. S., ... JUMAIDIN, R. Effect of sugar palm nanofibrillated cellulose concentrations on morphological, mechanical and physical properties of biodegradable films based on agro-waste sugar palm (*Arenga pinnata* (Wurmb.) Merr) starch. **Journal of Materials Research and Technology**, 8(5), 4819–4830. 2019.

ISOTTON, F.S.; BERNARDO, G.L.; BALDASSO, C.; ROSA, L.M.; ZENI, M. The plasticizer effect on preparation and properties of etherified corn starches films, **Ind. Crops Prod.** 76, 717 e 724. 2015.

JABAR, SAIFUL & HELWATI, HIRA & SALEHA, SITTI & IQBALSyah, TEUKU. Development of bioplastic from wheat Janeng starch for food packaging. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. 523. 012015. 10.1088/1757-899X/523/1/012015, 2019.

JESUS, C. G. Filmes automontados do cloreto de 3- npropilpiridínio silsesquioxano e ftalocianina de cobre obtidos pela técnica LBL. Preparação, caracterização e aplicações. **Dissertação de Mestrado em Química** – UFGP, Paraná, 2009.

- JU, A., & SONG, K. B. Development of teff starch films containing camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh) extract as an antioxidant packaging material. **Industrial Crops and Products**, 141, 111737, 2019.
- KRINGEL, D.H., DIAS, A.R.G., ZAVAREZE, E.R., GANDRA, E.A. Fruit wastes as promising sources of starch: Extraction, properties and applications. **Starch – Stärke** Vol. 72, I. 3-4, 1900200, 2019.
- LANDIM, A. P. et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, 82–98. 2016.
- LEAL, I. L. et al. Development and application starch films: PBAT with additives for evaluating the shelf life of Tommy Atkins mango in the fresh-cut state. **Journal of Applied Polymer Science**, 136 (43), 1–19. 2019.
- LEE, J.-S., LEE, E., & HAN, J. Enhancement of the water-resistance properties of an edible film prepared from mung bean starch via the incorporation of sunflower seed oil. **Scientific Reports**, 10(1), 2020.
- LEKUBE, B. M., FAHRNGRUBER, B., KOZICH, M., WASTYN, M., & BURGSTALLER, C. Influence of processing on the mechanical properties and morphology of starch-based blends for film applications. **Journal of Applied Polymer Science**, 136(39), 1–8. 2019.
- LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 579–588, 2007.
- LIMA, B. H. R. de. Análise estrutural de filmes finos de hematita produzidos por spin-coating para geração de hidrogênio. **Dissertação de mestrado** – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP. 2010.
- LIMPONGSA, E., & JAIPAKDEE, N. Physical modification of Thai rice starch and its application as orodispersible film former. **Carbohydrate Polymers**, 116206, 2020.
- LUCHESE, C. L. et al. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 834–839, 2018.
- LUCHESE, C. L. et al. Effect of chitosan addition on the properties of films prepared with corn and cassava starches. v. 55, n. August, p. 2963–2973, 2018.
- MALI, S. et al. Microstructural characterization of yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 50, n. 4, p. 379–386, 2002.
- MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; YAMASHITA, F. Starch films: production, properties and potential of utilization. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, p. 137-156. 2010.
- MALI, S; AKANAKA L. S. S., YAMASHITA, F., GROSSMANN, M. V. E. Sorção de água e propriedades mecânicas de filmes de amido de mandioca e sua relação com o efeito plastificante. **Polímeros de carboidratos**, 60 (3), pp. 283 - 289. 2005.
- MATSUGUMA, L. S. et al. Characterization of native and oxidized starches of two varieties of peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*). **Braz. Arch. Biol. Technol.** 53: 701-713. 2009.

MCHUGH, T. H.; KROCHTA, J. M. Sorbitol-vs Glycerol-Plasticized Whey Protein Edible Films: Integrated Oxygen Permeability and Tensile Property Evaluation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, n. 4, p. 841–845, 1994.

MEDINA JARAMILLO, C. et al. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 150–159, 2016.

MEI, J.-Y., ZHANG, L., LIN, Y., LI, S.-B., BAI, C.-H., & FU, Z. Pasting, Rheological, and Thermal Properties and Structural Characteristics of Large and Small Arenga pinnata Starch Granules. **Starch - Stärke**, 1900293, 2020.

MIKSUSANTI, HERLINA, FITHRI A.N, YUNIAR, NOVALIN, JULINAR. Film (patch) based on starch compound hydrolise by amylase from saliva and bacteria. **Journal of Physics: Conference Series**, 1282, 2019.

MOHAMED, S. A. A.; EL-SAKHAWY, M.; EL-SAKHAWY, M. A. M. Polysaccharides, protein and lipid -based natural edible films in food packaging: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 238, p. 116178, 2020.

NAGATANI, T. Renormalization-group approach to multifractal structure of growth probability distribution in diffusion-limited aggregation. **Physical Review A**. v. 36, n. 12, p. 5812–5819, 1987.

NASERI, A., SHEKARCHIZADEH, H., & KADIVAR, M. Octenylsuccination of sago starch and investigation of the effect of calcium chloride and ferulic acid on physicochemical and functional properties of the modified starch film. **Journal of Food Processing and Preservation**, e13898, 2019.

NETO, B. A. DE M. et al. Composição química e propriedades funcionais do amido extraído da fruta da pupunha (*Bactris gassepaes Kunth.*). **Acta Scientiarum - Technology**, v. 37, n. 1, p. 105–110, 2015.

NGUYEN, A. T. et al. A consumer definition of eco-friendly packaging. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, n. 2020, 2020.

OLIVEIRA, L. M.; SARANTÓUPOLOS, C. I. G. L.; CUNHA, D. G.; LEMOS, A. B. Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis. **Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem**, 1996.

PASCOAL, Aline Mendonça. **Extração e caracterização do amido de lobeira**. Goiânia: UFG, 2014.

PELLÁ, M. C. G. et al. Effect of gelatin and casein additions on starch edible biodegradable films for fruit surface coating. **Food Chemistry**, v. 309, n. October 2019, p. 125764, 2020.

PHILIPPI, S. T. Pirâmide dos alimentos: fundamentos básicos de nutrição. 2ª ed. São Paulo: Manole. 2014.

PHUONG, H., VU, N., & LUMDUBWONG, N. Starch behaviors and mechanical properties of starch blend films with different plasticizers Hoang Phuong Nguyen Vu, Namfone Lumdubwong *. **Carbohydrate Polymers**. 2016.

QIN, Y. et al. Characterization of starch nanoparticles prepared by nanoprecipitation: Influence of amylose content and starch type. **Industrial Crops & Products**, v. 87, p. 182–190, 2016.

- REZAEI, M.; MOTAMEDZADEGAN, A. The Effect of Plasticizers on Mechanical Properties and Water Vapor Permeability of Gelatin-Based Edible Films Containing Clay Nanoparticles. **World Journal of Nano Science and Engineering**, v. 05, n. 04, p. 178–193, 2015.
- RINDLAV-WESTLING, Å.; STADING, M.; GATENHOLM, P. Crystallinity and morphology in films of starch, amylose and amylopectin blends. **Biomacromolecules**, v. 3, n. 1, p. 84–91, 2002.
- ROCHA, S. J. Biocombustíveis, projeto ciência na escola. 2008. Disponível em: <http://biocombustiveis-esag.blogspot.com/2008/05/identificao-do-amido.html> - Acesso em 06/12/2020.
- SALEHUDIN, M. H. et al. Starch-based biofilm reinforced with empty fruit bunch cellulose nanofibre. **Materials Research Innovations**. v. 8917, 2014.
- SEETAPAN, N. et al. Effect of cryogenic freezing on textural properties and microstructure of rice flour/tapioca starch blend gel. **Journal of Food Engineering**, 151:51-59, 2015.
- SEIXAS, F. L., TURBIANI, F. R., SALOMÃO, P. G., SOUZA, R. P., & GIMENES, M. L. Biofilms composed of alginate and pectin: Effect of concentration of crosslinker and plasticizer agents. **Chemical Engineering Transactions**, 1693–1698. 2013.
- SILVA, K. S., MAURO, M. A., GONÇALVES, M. P., & ROCHA, C. M. Synergistic interaction of locust bean gum with whey proteins: Effect on physicochemical and microstructural properties of whey protein-based films. **Food Hydrocolloids**, 179–188. 2016.
- SILVA, O. A. et al. Synthesis and characterization of a low solubility edible film based on native cassava starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 128, p. 290–296, 2019.
- SIM, T. et al. Critical evaluation of biodegradation studies on synthetic plastics through a systematic literature review. **Science of the Total Environment**. v. 752, 2021.
- SINGH, H., PUNIA, R., GANESH, A., DUTTAGUPTA, A., KAUR, A., & BLENNOW, A. Modification of Moth Bean Starch using Mixture of Organic Acids under Dry Heating. **Starch – Stärke**, 2019.
- SJÖÖ, M., & NILSSON, L. Starch in food: structure, function and applications. **Woodhead Publishing**. (2nd Edition), 2018.
- SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1-14, 2000a.
- SONAR, C. R. et al. Performance evaluation of biobased/biodegradable films for in-package thermal pasteurization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 66, n. June, p. 102485, 2020.
- SOUZA, A. C., BENZE, R., FERRÃO, E. S., DITCHFIELD, C., COELHO, A. C. V., & TADINI, C. C. Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol, and clay nanoparticles content on tensile, and barrier properties, and glass transition temperature. **LWT - Food Science, and Technology**, 46(1), 110–117. 2012.

- SOUZA, L. G. V. DE, CARVALHO, C. W. P., MARCONCINI, J. M., & ASCHERI, J. L. R. Propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis de amido de mandioca adicionados de nanofibrilas de algodão. (1), 1–6. 2009.
- SRICHUWONG, S., & JANE, J. L. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: A review. **Food Science and Biotechnology**, 16, 663–674. 2007.
- TEIXEIRA, C. S. et al. Brazilian cheese bread rolls from fermented and native waxy maize starch. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 44, p. 1–7, 2020.
- TIAN, H. et al. Fabrication and properties of polyvinyl alcohol/starch blend films: Effect of composition and humidity. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 96, p. 518–523, 2017.
- VAN SOEST, J. J. G.; HULLEMAN, S. H. D.; WIT, D.; Vliegenthart, J. F. G. Crystallinity in starch bioplastics. **Industrial Crops and Products, Amsterdam**, v. 5, n. 1, p. 11-22, 1996.
- VAN SOEST, J. J. G; Vliegenthart, J. F. G. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. **Trends in Biotechnology**, Kidlington Oxford, v. 15, n. 6, p. 208- 213, 1997.
- VEDOVE, T. M. A. R. D.; MANIGLIA, B. C.; TADINI, C. C. Production of sustainable smart packaging based on cassava starch and anthocyanin by an extrusion process. **Journal of Food Engineering**, v. 289, p. 110274, 2021.
- WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and properties of amylose, amylopectin and intermediary materials of oat starches. **Cereal Chemistry**, London, v. 71, n. 3, p. 263- 268, 1994.
- YOUNIS, H. G. R.; ZHAO, G. Physicochemical properties of the edible films from the blends of high methoxyl apple pectin and chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 131, p. 1057–1066, 2019.
- ZHANG, H., HOU, H., LIU, P., WANG, W., & DONG, H. Effects of acid hydrolysis on the physicochemical properties of pea starch and its film forming capacity. **Food Hydrocolloids**, 87, 173–179, 2019.
- ZHONG, Y. et al. Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 3, n. 1, p. 27–35, 2020.
- ZHU, F. Underutilized and unconventional starches: Why should we care? **Trends in Food Science and Technology**, v. 100, n. April, p. 363–373, 2020.
- ZHU, F; LIU, P. Starch gelatinization, retrogradation, and enzyme susceptibility of retrograded starch: Effect of amylopectin internal molecular structure. **Food Chemistry**, v. 316, p. 126036, 2020.
- ZIA-UD-DIN; XIONG, H.; FEI, P. Physical and chemical modification of starches: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2691–2705, 2017.