

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

MARIA LETÍCIA DE SOUSA GOMES

**FILMES BIODEGRADÁVEIS DE MANDIOCA (*Manihot
esculenta* Crantz): UMA REVISÃO**

MANAUS – AM

2022

MARIA LETÍCIA DE SOUSA GOMES

**FILMES BIODEGRADÁVEIS DE MANDIOCA (*Manihot
esculenta* Crantz): UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

ORIENTADOR: DR. CARLOS VICTOR LAMARÃO PEREIRA

COORIENTADORA: DRA. ANA CECÍLIA NINA LOBATO

MANAUS – AM

2022

Ficha Catalográfica

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

G633f Gomes, Maria Letícia de Sousa
Filmes biodegradáveis de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz):
uma revisão / Maria Letícia de Sousa Gomes . 2022
30 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Carlos Victor Lamarão Pereira
Coorientadora: Ana Cecília Nina Lobato
TCC de Graduação (Engenharia de Alimentos) - Universidade
Federal do Amazonas.

1. Embalagens. 2. Amido. 3. Plástico biodegradável. 4.
Sustentabilidade. I. Pereira, Carlos Victor Lamarão. II. Universidade
Federal do Amazonas III. Título

MARIA LETÍCIA DE SOUSA GOMES

**FILMES BIODEGRADÁVEIS DE MANDIOCA (*MANIHOT
ESCULENTA CRANTZ*): UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Aprovado em 20 de setembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Victor Lamarão
Prof. Dr. Biotecnologia
SIAPE 1733200

Prof. Dr. Carlos Victor Lamarão Pereira, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Charline Rolim

Profª Esp. Charline Soares dos Santos Rolim, Membro
Universidade Federal do Amazonas

Anderson Mathias Pereira
Prof. Dr. Anderson Mathias Pereira, Membro
Universidade Federal do Amazonas

À minha querida bisavó Anunciação (in
memoriam), aos meus pais incríveis e ao meu
irmão extraordinário.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida todos os dias.

Aos meus pais Nuci e Alessandro pela educação, valores e por sempre investirem em mim para que eu pudesse me tornar quem sou hoje.

Ao meu irmão Benjamim pelas muitas perguntas que me fizeram e fazem refletir durante as minhas pesquisas.

Ao meu orientador e amigo Dr. Victor Lamarão pela orientação, paciência e pelas oportunidades proporcionadas, além de me incentivar e acreditar no meu potencial.

À minha coorientadora e amiga Dra. Ana Cecília por confiar em mim para dar continuidade à sua pesquisa com filmes biodegradáveis, pelos conselhos e acompanhamento.

À colega de laboratório Charline Rolim pelo convite e indicação de trabalhar com o Dr. Lamarão, pois esse ponto-chave impactou imensamente na minha vida acadêmica.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pela oportunidade de cursar Engenharia de Alimentos, curso pelo qual tenho profundo amor.

À indústria farmacêutica por produzir os analgésicos que tornaram a dor suportável a ponto de não ser um grande obstáculo nos meus estudos.

*Existem cientistas sádicos que têm pressa em
caçar erros em vez de estabelecer a verdade.
Marie Curie*

RESUMO

O plástico é o material mais utilizado na produção de embalagens e pode ser elaborado a partir de diferentes polímeros. Uma alternativa ecológica de fabricação é usar materiais que resultem em uma embalagem biodegradável, a qual é absorvida por meio da ação de microrganismos, sendo produzida com amido, plastificante e calor. O Brasil dispõe de diversas espécies amiláceas, dentre as quais a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) se destaca e vários autores demonstram seu potencial na indústria de bioplásticos. Deste modo, o presente trabalho objetiva analisar técnicas aplicadas na produção de biofilmes a partir da mandioca e ainda seus modos de caracterização e conclusões sobre formulações e incorporações, tudo através de revisão bibliográfica com buscas utilizando termos específicos no Google Acadêmico, não existindo restrição quanto à cronologia do material, porém foram selecionados mediante a leitura exploratória e seletiva para constatar quais continham as informações necessárias para atingir os objetivos dessa pesquisa. Os autores elaboram diversas formulações utilizando água, amido, glicerol, sorbitol, polpa de frutas, pululana, celulose e muitos outros materiais, o *casting* se destaca entre as técnicas de elaboração dos biofilmes, mas também se utilizam *tape-casting*, extrusão e convecção. Para caracterizar os filmes, os autores costumam avaliar espessura, propriedades mecânicas e propriedades de barreira, as quais permitem comparar os desempenhos das formulações e verificar se servem para determinada finalidade almejada. A aplicação dos biofilmes já é uma realidade em forma de sacola biodegradável produzida pela Avani Eco, porém autores também estudam a aplicação direta nos alimentos e até mesmo vantagens que a película possa fornecer ao produto. Além disso, a mandioca possui baixo custo, mas algumas incorporações podem encarecer sua fabricação, a qual deve seguir as normas legislativas da região onde será comercializada. Portanto, os componentes dos filmes influenciam em todos os aspectos, sejam nas propriedades, durabilidade, aplicação e até economicamente.

Palavras-chave: embalagens; amido; plástico biodegradável.

ABSTRACT

Plastic is the most used material in the production of packaging and can be made from different polymers. An ecological manufacturing alternative is to use materials that result in a biodegradable packaging, which is absorbed through the action of microorganisms, being produced with starch, plasticizer and heat. Brazil has several starchy species, among which cassava (*Manihot esculenta* Crantz) stands out and several authors demonstrate its potential in the bioplastics industry. Thus, the present work aims to analyze techniques applied in the production of biofilms from cassava, their modes of characterization and conclusions about formulations and incorporations. All through bibliographic review with searches using specific terms in Google Scholar, without restriction on the chronology of the material, but they were selected through exploratory and selective reading to verify which ones contained the necessary information to achieve the objectives of this research. The authors elaborate different formulations using water, starch, glycerol, sorbitol, fruit pulp, pullulan, cellulose and many other materials, casting stands out among the techniques for preparing biofilms, but tape-casting, extrusion and convection are also used. To characterize the films, the authors usually evaluate thickness, mechanical properties and barrier properties, which allow comparing the performance of the formulations and verifying if they serve a certain desired purpose. The application of biofilms is already a reality in the form of a biodegradable bag produced by Avani Eco, but authors also study the direct application in food and even advantages that the film can provide to the product. In addition, cassava has a low cost, but some incorporations can make its manufacture more expensive and the packaging must follow the legislative norms of the region where it will be marketed. Therefore, film components influence in all aspects, like in properties, durability, application and even economically.

Keywords: packaging; starch; biodegradable plastic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 – Cultivo de mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	11
Figura 2 – Segmento de amilose	12
Figura 3 – Segmento de amilopectina com ponto de ramificação.....	12
Figura 4 – Grau de cozimento do grânulo do amido: subcozido (A), cozido (B) e supercozido (C).....	14
Figura 5 – Fotobiorreatores em acrílico tipo <i>air-lift</i>	18
Figura 6 – <i>Tape-casting</i> (A) e filme biodegradável de amido nativo por <i>tape-casting</i> (B)	19
Figura 7 – Extrusora Eurolab Prism KX16 (A) e extrusora monorosca Axon BX-25 acoplada a uma torre extrusora de filme tubular (B).....	19
Figura 8 – Células de alumínio para análise de permeabilidade ao vapor de água	20
Figura 9 – Aplicação do filme em filés de salmão	22
Figura 10 – Sacolas biodegradáveis de amido de mandioca da Avani Eco: <i>Griphole</i> (A) e <i>T-shirt Bag</i> (B).....	23

QUADROS

Quadro 1 – Componentes e modo de elaboração de filmes biodegradáveis de mandioca.....	16
Quadro 2 – Análise de caracterizações realizadas nos filmes biodegradáveis por autores descritos.....	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.2 Objetivo	10
1.2.1 Objetivo geral.....	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	11
2.2 Amido	12
2.3 Gelatinização do amido	13
2.4 Filmes biodegradáveis de amido.....	14
3 METODOLOGIA.....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
4.1 Técnicas de elaboração	15
4.2 Modo de caracterização dos filmes.....	20
4.3 Considerações sobre as formulações dos filmes biodegradáveis a partir de <i>Manihot esculenta</i> Crantz.....	20
4.4 Aplicações dos filmes biodegradáveis	22
4.5 Aspectos econômicos acerca dos filmes biodegradáveis.....	23
4.6 Aspectos legislativos acerca dos filmes biodegradáveis.....	24
5 CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1 INTRODUÇÃO

A fim de garantir a conservação e facilitar a mobilidade e manuseio do alimento, uma embalagem pode ser um recipiente, um pacote ou um envoltório. Há embalagens primárias, as quais estão em contato direto com o alimento, secundárias, as quais contêm a primária, e as terciárias, as quais têm finalidade de conter uma ou mais embalagens secundárias (BRASIL, 2002). As embalagens podem ser feitas de vidro, metal, madeira, papel/papelão ou plástico, sendo que também podem ser usados itens têxteis na produção. Dentre esses materiais, o plástico é o item de maior participação na produção de embalagens, correspondendo a 37,1% do total (ABRE, 2021).

O plástico pode ser fabricado de diferentes polímeros, como polietileno, polipropileno e outros, sendo que cada um exibe diferentes propriedades. A reciclagem desse material apresenta diferentes etapas, como triagem, lavagem, transporte e outras, além de elevados custos, características que desestimulam a iniciativa, tanto que apenas 15% dos materiais plásticos comuns são fabricados a partir de plásticos reciclados. O maior problema em usar o plástico está no seu tempo de degradação, o qual é em torno de 100 a 500 anos (SANTOS; YOSHIDA, 2011), além disso, atualmente, cerca de 1/3 do lixo doméstico é constituído por embalagens e 80% destas são descartadas após um único uso. Caso as embalagens parem em locais impróprios, como o mar, podem provocar a morte de milhões de aves e milhares de mamíferos marinhos anualmente (RESIDUOALL, 2017).

Contudo, há uma alternativa para tal problema, chama-se material biodegradável. Estes são definidos por terem componentes resultantes da biodegradação que tenham aplicabilidade como fonte de alimento para microrganismos e que o material seja totalmente absorvido no meio ambiente, existindo um espaço de tempo determinado para o processo completo (SANTOS; YOSHIDA, 2011). Dentre as alternativas para confecção de bioplásticos, o amido é uma matéria-prima potencial por ser um polímero natural com disponibilidade e custo mais baixo. Ele apresenta a possibilidade de ser processado como elemento termoplástico junto de um plastificante e calor (FAKHOURI, 2009). A aplicação do amido é restrita, pois apresenta hidrofiliabilidade e fragilidade (AVÉROUS, 2004). Uma alternativa é adicionar outros polímeros para originar blendas poliméricas (MIRANDA; CARVARLHO, 2011).

O Brasil apresenta uma gama de espécies amiláceas, dentre elas as espécies *Manihot esculenta* Crantz, a qual dispõe de cerca de 82,5% de amido em base seca (CEREDA et al., 2003). Autores demonstram que filmes biodegradáveis a partir da fécula de mandioca (*Manihot*

esculenta Crantz) se mostraram promissores, inclusive podem ser inteligentes e serem potenciais indicadores de mudança de pH (ARENAS, 2012), podem ser tonificados com bagaço de cana-de-açúcar (DIAS et al., 2019) ou acrescidos de pululana e celulose bacteriana (SUEIRO et al., 2016) e há possibilidade de outras formulações e incorporações.

Apesar de o Brasil já ter liderado na produção mundial até 1991, agora ocupa a 4ª posição no ranking mundial de produção de mandioca, com cerca de 23,24 milhões de toneladas/ano, e perde apenas para Nigéria, Tailândia e Indonésia (CONAB, 2017), porém se estima que, em 2021, a produção foi cerca de 18,85 milhões de toneladas/ano (CONAB, 2021). A mandioca não precisa de fertilizantes caros, resiste a mudanças climáticas e é uma planta brasileira, sendo que o país dispõe de solo e clima propícios para a produção do tubérculo em todas as regiões o ano inteiro. Além disso, o agronegócio da mandioca no país gera, anualmente, uma receita bruta de 2,5 bilhões de dólares e 1 milhão de empregos diretos nos níveis atuais de produção (SILVA, 2022).

Deste modo, filmes biodegradáveis a partir de fécula de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) são promissores na indústria de bioplásticos, além de gerar emprego e renda aos envolvidos na cadeia produtiva. Contudo, devem-se avaliar as técnicas empregadas e incorporações nos biofilmes a fim de facilitar a obtenção uma embalagem comercial.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

Analisar as técnicas empregadas na elaboração de filmes biodegradáveis a partir da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), além de seus modos de caracterização e conclusões a respeito da formulação e incorporações para fortalecimento dos biofilmes.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Verificar técnicas de elaboração de filmes biodegradáveis a partir de *Manihot esculenta* Crantz;
- b) Verificar as análises mais realizadas para caracterização dos filmes biodegradáveis a partir de *Manihot esculenta* Crantz;

- c) Verificar conclusões sobre as formulações e aplicações dos filmes biodegradáveis a partir de *Manihot esculenta* Crantz.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

A mandioca, popularmente conhecida como aipim ou macaxeira (SIBBR, [s/d]), foi domesticada há aproximadamente 5.000 a 7.000 anos a.C. segundo descobertas arqueológicas na região amazônica (ALLEM, 2002). Essa raiz está presente em todo o Brasil, pois teoricamente os indígenas disseminaram em todo o continente americano e os portugueses e espanhóis levaram para continentes como África e Ásia, em acordo com uma das hipóteses mais aceitas sobre origens e domesticação da planta (FIALHO; VIEIRA, 2011).

A mandioca é um arbusto perene (Figura 1), faz parte da família Euphorbiaceae e pertence ao gênero *Manihot*, o qual possui aproximadamente 98 espécies, contudo, comercialmente, a espécie cultivada é a *Manihot esculenta* subsp. *esculenta*, a qual produz altas quantias de amido em condições que outras espécies não sobreviveriam (ALVES, 1990; FIALHO; VIEIRA, 2011).

Figura 1 – Cultivo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)



Fonte: Nordeste Rural, 2018.

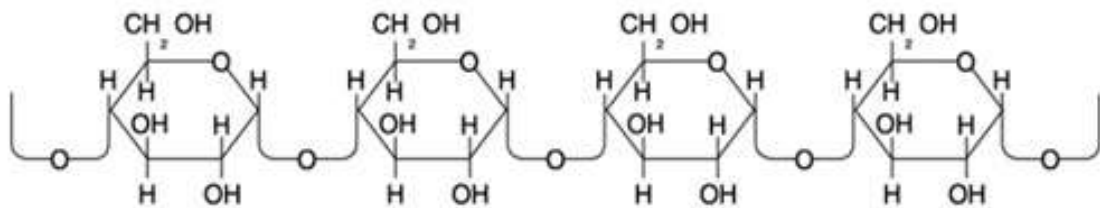
Apesar de ser uma fonte energética boa, há compostos cianogênicos arriscados à saúde caso haja um processamento inadequado. A mandioca de mesa ou mansa tem baixo teor desses compostos, uma concentração inferior a 100 ppm, todavia, a mandioca com concentração superior a 100 ppm não deixa de ser usada, ela vai para uso industrial. O cultivo de mandioca

desempenha uma importante função na alimentação animal e humana, na geração de emprego e renda, além de servir como matéria-prima para diversos produtos. A partir da fécula de mandioca, pode-se produzir polvilho, tapioca, fermento químico, álcool, plásticos biodegradáveis, sorbitol, glucose e outros potenciais produtos (SOUZA; FIALHO, 2003).

2.2 Amido

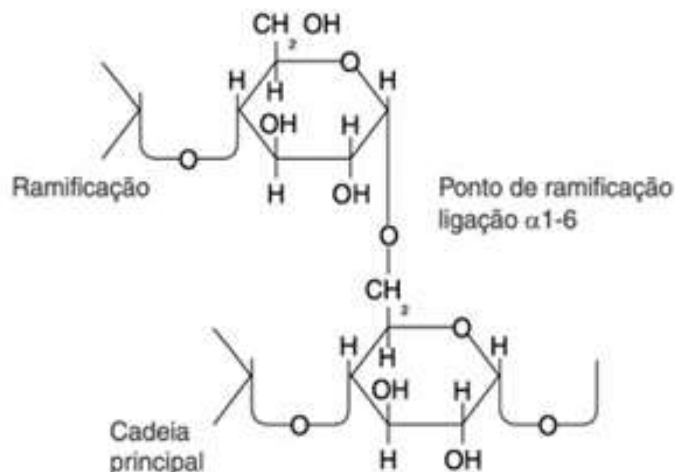
O amido é um polissacarídeo, classificado como homopolissacarídeo, pois contém em sua molécula uma única espécie de monossacarídeo, α -D-glicose. O polímero é formado por amilose (Figura 2) e amilopectina (Figura 3), duas frações do polissacarídeo. O amido é composto de 70 a 80% por amilopectina, enquanto 20 a 30% é amilose. A maior fração apresenta uma estrutura ramificada de moléculas α -D-glicose com ligações glicosídicas α 1-4 e α 1-6 nos pontos de ramificação, ao passo que a menor fração é unida apenas por ligações α 1-4 e não é ramificada, apresentando arranjo helicoidal e seis resíduos de glicose em cada volta na estrutura em alfa-hélice (DA POIAN et al., 2009).

Figura 2 – Segmento de amilose



Fonte: adaptado de Da Poian et al., 2009.

Figura 3 – Segmento de amilopectina com ponto de ramificação



Fonte: adaptado de Da Poian et al., 2009.

O amido funciona como reserva energética de vegetais, como tubérculos, onde fica situado nos amiloplastos da raiz e das sementes, sendo a maior fonte glicídica na dieta de animais (DA POIAN et al., 2009) e, junto aos seus hidrolisados, compõe grande parte dos carboidratos digeríveis da alimentação humana. Os grânulos de amido são pouco hidratáveis em água fria, mesmo em concentrações acima de 35%, contudo, ao aquecer uma suspensão de 5% a 80°C, já existe uma dispersão de alta viscosidade, denominada goma (DAMODARAN et al., 2010).

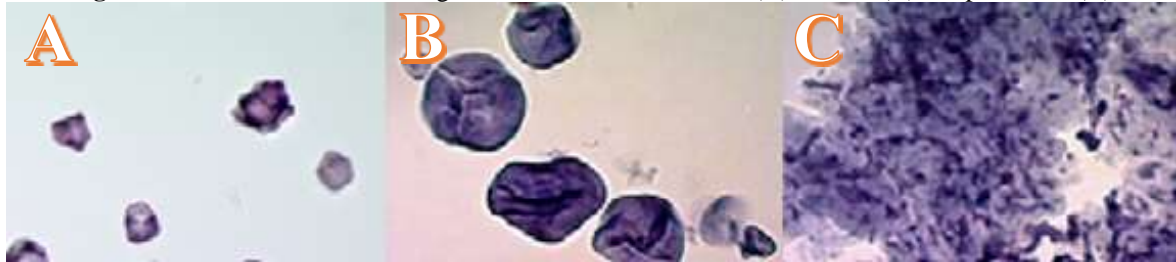
A extração do amido a partir da mandioca, segundo Leal e Neto Moita (2013), dá-se pelo descascamento dos tubérculos, os quais depois são lavados com água e moídos em catitu, a massa obtida é posta em um fino tecido e lavada outra vez, a fim de separar a goma do resíduo, a qual fica em repouso em gamelas até decantação, onde o sobrenadante é descartado e o que sobra é a goma em si, mas ainda precisa ser completamente seca, processo que pode ser realizado por meio de exposição ao sol.

Apesar de quimicamente fécula e amido serem iguais, Brasil (1978) diferenciava ambos os termos, onde amido era “o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais”, enquanto fécula era “o produto amiláceo extraído das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais”. Contudo, a RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005, passou a definir amidos como “os produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas”, anulando as definições anteriores da Resolução nº 12 de 1978 da CNNPA (BRASIL, 2005).

2.3 Gelatinização do amido

Ao aquecer grânulos de amido junto à água, as moléculas vibram intensamente, há a quebra das pontes de hidrogênio e a permissão da entrada de água, conseqüentemente o grânulo estufa (Figura 4), a viscosidade se eleva e a textura muda, ocorrendo um processo denominado gelatinização (FIB, 2015), no qual a ordem molecular se rompe no âmago dos grânulos, causando inchamento não reversível, desaparecimento da cristalização e lixiviação da amilose. A totalidade da gelatinização depende da temperatura empregada no processo, além do tipo de grânulo, grau de heterogeneidade e interação entre amido e água (DAMODARAN et al., 2010). Para mandioca, a temperatura de gelatinização é de 52 a 65°C, enquanto para o arroz é de 65 a 73°C. Já ao decorrer do resfriamento do gel, as moléculas se reaproximam, uma vez que a temperatura cai, ao passo que pontes de hidrogênio se formam e verifica-se a sinérese, na qual água é liberada. Esse processo é chamado de retrogradação do amido (FIB, 2015).

Figura 4 – Grau de cozimento do grânulo do amido: subcozido (A), cozido (B) e supercozido (C)



Fonte: adaptado de FIB, 2015.

2.4 Filmes biodegradáveis de amido

Os constituintes dos alimentos têm interações físico-químicas, as quais produzem estruturas macroscópicas como gotículas, fibrilas, filmes e outras. Tais estruturas têm sua estabilização em sistemas aquosos e o tamanho e a forma de cada estrutura dependem do estado bioquímico da matéria-prima e das variáveis do processo (DAMODARAN et al., 2010). Logo, os biofilmes são produzidos a partir de materiais como proteínas e polissacarídeos ou outros materiais biológicos, faz-se então a solubilização do biopolímero em um solvente, acompanhada da adição de um plastificante, e posterior operação de secagem (GONTARD et al., 1993). Um biopolímero bastante usado para a produção de filme biodegradável é o amido, devido ao seu custo benefício e sua disponibilidade (HENRIQUE et al., 2008).

Uma das utilidades dos biofilmes é embalar alimentos, desde que apresentem as características requeridas para o alimento em questão (DAMODARAN et al., 2010), como adequada função antimicrobiana, barreira de gás, vapor d'água e aromas, propriedades mecânicas, térmicas e óticas e ser reciclável e biodegradável (RHIM et al., 2013). Para tal, diversas pesquisas são realizadas, por exemplo, Dantas et al. (2015) elaboraram filmes biodegradáveis a partir de uma matriz polimérica de amido, proveniente de fécula de mandioca, incorporada com polpa de frutas tropicais e glicerol como plastificante, objetivando ter uma embalagem ativa e flexível, enquanto Dias (2008) elaborou diferentes biofilmes: um com amido de arroz e outro com farinha de arroz adicionados de glicerol e sorbitol, além de fibras de celulose, a fim de analisar seus impactos nas propriedades dos filmes resultantes.

3 METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma revisão bibliográfica integrativa, realizada com auxílio do Google Acadêmico. Usaram-se os seguintes termos na pesquisa: “filmes biodegradáveis de mandioca”, “filmes biodegradáveis de manihot esculenta”, “biofilme de

manihot esculenta”, “biofilme de mandioca”, “filmes biodegradáveis de mandioca extrusão” e “filmes biodegradáveis de mandioca aplicação”.

Não houve restrição quanto ao período em que os trabalhos foram publicados, mas foram selecionados mediante a leitura exploratória e seletiva para verificar qual dispunha de informações para cumprir os objetivos desta pesquisa. A partir desses critérios, selecionaram-se 11 artigos, 2 teses e 5 trabalhos de congresso, os quais foram publicados num período de 2006 a 2021. O cerne da seleção se fixou em demonstrar diferentes modos de incorporação, técnicas de elaboração, modos de caracterização e as consequentes conclusões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Técnicas de elaboração

Diversos autores produzem filmes biodegradáveis a partir da mandioca, elaborando-os com adição de plastificantes e elementos que visam reforçar o biofilme ou até mesmo conferir ou melhorar uma propriedade deficiente para a aplicação desejada (Quadro 1). Henrique et al. (2008) escolheram produtos amiláceos com base no poder de solubilização e gelatinização a frio proporcionados, então, com base em outros autores, elaboraram suspensões filmogênicas a 3% e 5% (m/v) de concentração, utilizando água destilada para solubilizar o amido e, para o esterificado, aquecimento com agitação constante até a completa gelatinização, enquanto para o *cross linked* e o carboximetilamido (CMA) de baixa e de alta densidade, não houve aquecimento, ocorrendo a agitação em temperatura ambiente, porém todos os tratamentos foram submetidos a aparelho de ultra-som ao final, a fim de retirar bolhas de ar, as quais foram formadas devido à aeração da agitação. Com as suspensões prontas, estas foram postas em placas de petri e submetidas ao processo de desidratação em estufa, o que caracteriza a realização da metodologia *casting*.

Shimazu et al. (2007) elaboraram os filmes também utilizando o aquecimento no processo, com temperaturas de 30 a 95 °C, sendo que se manteve a maior temperatura por 10 minutos e um viscógrafo foi empregado. Na estufa, a temperatura foi de 40 °C e os filmes, postos em placas de acrílico, foram retirados apenas quando alcançaram peso constante, posteriormente foram colocados em dessecador com umidade relativa (UR) de 64%, a 25 °C \pm 2 °C, por 48 horas. Faria et al. (2002) utilizaram agitação constante de 2000 rpm por 30 minutos a 90 °C, já na estufa se recorreu a 35 °C por 12 horas, depois os filmes foram retirados das placas e estocados em estufa B.O.D. com UR 60% a 25 °C durante 72 horas.

Quadro 1 – Componentes e modo de elaboração de filmes biodegradáveis de mandioca

Extração do amido	Produto amiláceo	Plastificante	Incorporação	Técnica	Referência
Adquirido pronto	Amido da Indemil Brasil	Glicerol	Amido de milho modificado Hylon V; amido de milho hidroxipropilado; gelatina de couro bovino (Bloom 250); polibutileno succinato co-adipato (PBSA)	Extrusão sopro de filme tubular	Sakanaka (2007)
NI	Fécula nativa	Glicerol; sorbitol	-	<i>Casting</i>	Shimazu et al. (2007)
Adquirido pronto	<i>Cross linked</i> ; carboximetilamido de baixa viscosidade; carboximetilamido de alta viscosidade; esterificado	-	-	<i>Casting</i>	Henrique et al. (2008)
NI	Amido nativo	Glicerol	Goma xantana	Extrusão	Melo et al. (2009)
Adquirido pronto	Amilogill 1500 (doada pela Cargill Agrícola S.A.)	Glicerol	Nanocelulose de fibra de coco; erva-mate	<i>Casting</i>	Machado et al. (2012)
Adquirido pronto	Fécula doada pela Cargill Agrícola S.A.	Sacarose; açúcar invertido	Polpa de manga e acerola	<i>Casting</i>	Souza et al. (2012)
Adquirido pronto	Amido da Indemil Brasil	Glicerol	Montmorilonita sódica (MMT-Na); álcool polivinílico (PVA)	<i>Casting</i>	Faria et al. (2012)
Adquirido pronto	Fécula da marca Sevenhani®	-	-	Preparo SF e convecção natural	Mohr et al. (2015)
NI	Fécula nativa	Glicerol	Polpa de manga, acerola e seriguela	<i>Casting</i>	Dantas et al. (2015)
Adquirido pronto	Amido da Indemil Brasil	Glicerol	Goma pululana; celulose bacteriana	<i>Casting</i>	Sueiro et al. (2016)
Adquirido pronto	Amido nativo da Yoki Alimentos S.A.	Glicerol	-	<i>Tape-casting</i> e secagem ao sol	Borges et al. (2017)
Adquirido pronto	Amido nativo da Yoki Alimentos S.A.	Glicerol	Microalgas <i>Heterochlorella luteoviridis</i> e <i>Dunaliella tertiolecta</i> ; polissorbato 80	<i>Casting</i>	Carissimi (2017)
Adquirido pronto	Farinha de mandioca	Glicerol	-	<i>Casting</i>	Amaral et al. (2019)
Método úmido	Fécula nativa	Glicerol; quitosano	Gel de babosa	<i>Casting</i>	Criollo et al. (2020)

Legenda: SF: solução filmogênica; “-“ não possui; NI: Não informado.
 Fonte: Autora, 2022.

Souza et al. (2012) aqueceram a solução até 70 °C também sob agitação constante, as condições de estufa para evaporação do solvente foram de 35 °C ± 2 °C por 18 a 20 horas, depois os filmes foram colocados em dessecador (UR 60% a 23 °C) contendo solução saturada de nitrato de magnésio por 48 horas antes de serem retirados das placas. Amaral et al. (2019) mantiveram a solução sob agitação mecânica a 50 °C por 30 minutos e a 80 °C por 1 hora, enquanto na estufa foi empregue 45 °C por 24 horas e aguardaram-se 48 horas para realização de análises. Sueiro et al. (2016) prepararam os biofilmes com agitação manual em banho-maria a 95 °C ± 5 °C por 15 minutos e a solução foi sonicada em temperatura ambiente, com a finalidade de retirar bolhas de ar, depois foram para a estufa a 30 °C por 24 horas.

A temperatura, modo de elaboração e forma de agitação depende não apenas da disponibilidade de tecnologia e equipamentos, mas da concentração de amido, plastificantes e materiais incorporados. Shimazu et al. (2007) produziram biofilmes com 3 g de amido/100 g de solução filmogênica e 0, 5, 10, 15, 30 e 40 g de plastificante/100g de amido. Amaral et al. (2019) utilizaram de 6% a 8% de farinha de mandioca, 30% (m/m) de plastificante e 400 mL de água destilada. Faria et al. (2012) usaram 3% (p/v) de sólidos, os quais são a mistura de montmorilonita sódica (MMT-Na) e álcool polivinílico (PVA), em variadas concentrações (PVA em 0, 1, 2, 3 e 5 g/100 g sólidos e MMT-Na em 2,5 g e 5,0 g por 100 g/sólidos), mas o plastificante foi estabelecido em 20 g/100 g de sólidos.

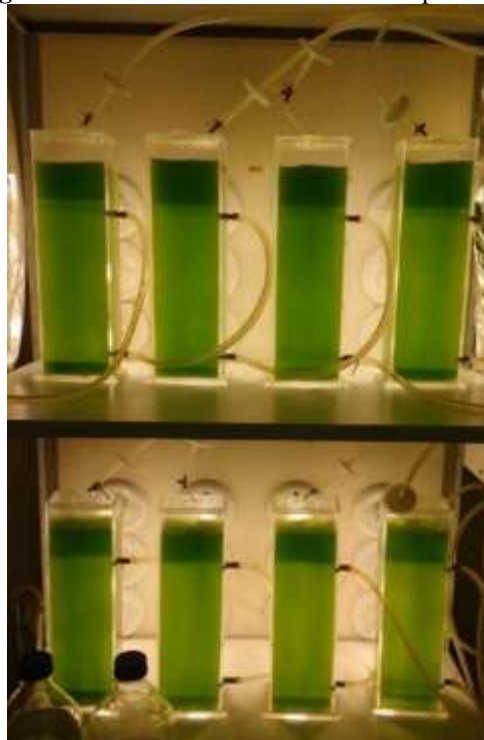
Souza et al. (2012) confeccionaram com 4% g/100g de fécula, 0,7% g/100 g de sacarose, 1,4% g/100 g de açúcar invertido e polpas de manga e acerola, ambas de 0 a 20% cada uma, além do uso de água destilada como solvente. Dantas et al. (2015) testaram a incorporação com polpas de manga, acerola e seriguela a 5, 10, 15 e 20% de cada fruta, ao passo que utilizaram 4,5% de amido e 1% de glicerol. Para conferir propriedades antifúngicas, Criollo et al. (2020) incorporaram 5% (p/v) gel de babosa, o qual foi extraído pelos próprios autores, e quitosano como plastificante, testando em diferentes porcentagens, além de comparar com o desempenho de biofilmes preparados com amido proveniente de banana verde.

Sueiro et al. (2016) produziram o material de incorporação, a celulose, através de *Gluconoacetobacter xylinum*, o qual formou o carboidrato na superfície do meio de cultivo, então essa celulose foi retirada, lavada e tratada com água destilada e hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol.L⁻¹, posteriormente, foi triturada até formação de gel. As soluções filmogênicas em si foram preparadas com 0,2 g de glicerol/g de biopolímero e 3% (m/v) de uma combinação de amido (49 a 100%), pululana (25 a 50%) e celulose bacteriana (1%). Machado et al. (2012) também usaram celulose, mas extraída da fibra de coco com um método

adaptado por eles a partir de outros autores, além disso foi realizado o processo de hidrólise ácida para adquirir nanocelulose.

Visando criar um biofilme com propriedades antioxidantes, Carissimi (2017) cultivou as microalgas utilizadas na formulação através de fotobiorreatores *air-lift* em acrílico (Figura 5), depois realizou extração alcoólica com posterior separação do solvente através de rota-evaporador e liofilizou para retirar a água remanescente. Então, fez os filmes com 4% (m/m) de amido a 80 °C em banho-maria sob agitação por 15 minutos, resfriaram-se até 40 °C e adicionaram plastificante e biomassa seca de microalgas sob agitação constante por 30 minutos. Carissimi (2017) também testou a formulação com extrato das microalgas e polissorbato 80, variando as concentrações dos componentes.

Figura 5 – Fotobiorreatores em acrílico tipo *air-lift*



Fonte: Carissimi, 2017.

Borges et al. (2017) elaboraram filmes biodegradáveis por *tape-casting*, os biofilmes foram colocados no equipamento e arrastados por lâmina *doctor blade*, a qual foi regulada para ficar a 140 µm da placa superior (Figura 6), contudo, somente as partes inferiores dos biofilmes foram secas, então, também se utilizou secagem ao sol até peso constante.

Sakanaka (2007) fez *pellets* de amido termoplástico (ATP) com polibutileno succinato co-adipato (PBSA) por processo de extrusão (Figura 7) de misturas de amido com água destilada e glicerol e alguns tratamentos com gelatina, cada formulação surgiu a partir de testes preliminares e não foi diferente com a elaboração dos biofilmes, onde *pellets* de ATP-PBSA foram postos em extrusora monorosca com temperatura e velocidade constantes, mas variando

a velocidade de rolo de arraste e a pressão de ar de sopro, com a finalidade de alcançar uma bolha contínua e uniforme. Melo et al. (2009) utilizaram *pellets* de combinações de amido com goma xantana e plastificante para produzir os filmes através de extrusão, com extrusora monorosca. Contudo, o processo contou com uma segunda extrusão e foram postos no mesmo equipamento, porém agora acoplado a torre de balão.

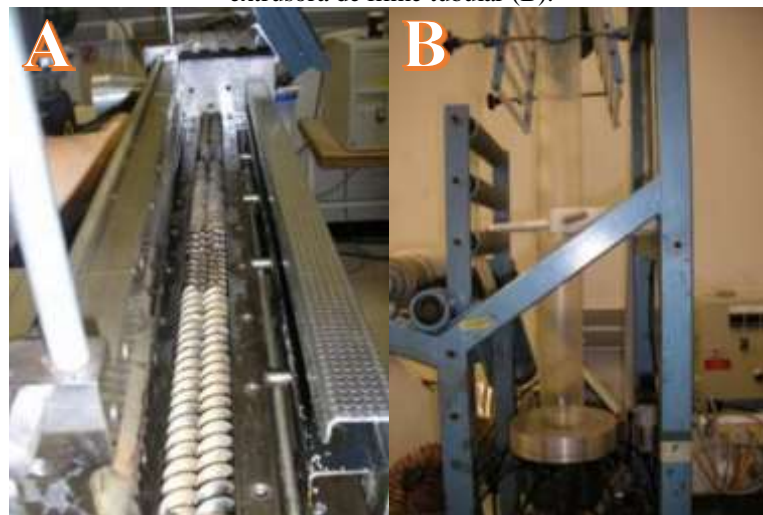
Mohr et al. (2015) preparam a solução filmogênica em chapa de aquecimento sob agitação, depois foram resfriados apenas por convecção natural até 40 °C e então aplicados diretamente em frutos.

Figura 6 – *Tape-casting* (A) e filme biodegradável de amido nativo por *tape-casting* (B)



Fonte: Borges et al., 2017.

Figura 7 – Extrusora Eurolab Prism KX16 (A) e extrusora monorosca Axon BX-25 acoplada a uma torre extrusora de filme tubular (B).



Fonte: adaptado de Sakanaka, 2007.

4.2 Modo de caracterização dos filmes

O Quadro 2 apresenta uma análise dos modos de caracterização apresentados pelos autores descritos, a fim de verificar quais são mais realizados. Pela medida de tendência central de moda, tem-se que a análise de espessura foi a mais se repetiu dentre os trabalhos analisados, logo em seguida, têm-se propriedades mecânicas e permeabilidade ao vapor d'água (Figura 8).

Cuq et al. (1996) demonstraram que a espessura se relaciona com algumas propriedades de bioembalagens, como propriedades de barreira, mas depende da formulação empregada nos biofilmes.

Figura 8 – Células de alumínio para análise de permeabilidade ao vapor de água



Fonte: Carissimi, 2017.

4.3 Considerações sobre as formulações dos filmes biodegradáveis a partir de *Manihot esculenta* Crantz

Há diversas formas de produzir filmes biodegradáveis a partir da mandioca e os autores utilizam modos de caracterização distintos, logo os resultados obtidos também variam e algumas considerações são concluídas baseadas nas análises e objetivos do estudo. Henrique et al. (2008) apresentaram biofilmes elaborados sem aquecimento e com boa característica com relação à PVA, além disso destacaram que seus filmes precisam de ajustes para atender um padrão de qualidade superior. Shimazu et al. (2007) analisaram que o glicerol plastificou de modo mais eficiente que o sorbitol, enquanto outros autores verificaram que as propriedades mecânicas, térmicas e de permeabilidade dos filmes são alteradas por meio de adições de polpas de fruta (SOUZA et al., 2012), MMT-Na e álcool polivinílico (FARIA et al., 2012), pululana e celulose bacteriana (SUEIRO et al., 2016) e outras incorporações.

Quadro 2 – Análise de caracterizações realizadas nos filmes biodegradáveis por autores descritos

Análises realizadas nos filmes biodegradáveis	Referência													TR	
	Shimazu et al. (2007)	Sakanaka (2007)	Henrique et al. (2008)	Melo et al. (2009)	Faria et al. (2012)	Souza et al. (2012)	Machado et al. (2012)	Dantas et al. (2015)	Mohr et al. (2015)	Sueiro et al. (2016)	Borges et al. (2017)	Carissimi (2017)	Amaral et al. (2019)		Criollo et al. (2020)
Atividade enzimática												X			1
Análise Termogravimétrica										X					1
Brilho especular		X													1
Gramatura			X												1
Hidrofilicidade da superfície		X													1
Microscopia de Força Atômica										X					1
Polifenóis Totais							X								1
Transmissão de luz especular		X													1
Atividade de água							X	X							2
Biodegradação												X		X	2
Colorimetria		X										X			2
Difração de raios-X		X			X										2
FT-IR		X								X					2
Teor de sólidos totais						X	X								2
Estabilidade oxidativa							X	X				X			3
DSC		X				X				X					3
Opacidade		X			X							X	X		4
MEV		X		X	X								X		4
Perfil de sorção de umidade	X	X		X	X										4
Solubilidade								X		X		X	X	X	5
Umidade							X	X				X	X	X	5
PVA		X	X	X	X	X	X			X		X		X	9
Propriedades mecânicas	X	X			X	X	X	X		X	X	X		X	10
Espessura	X	X	X		X	X	X	X		X		X	X	X	11

Legenda: FT-IR: Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier; DSC: calorimetria exploratória diferencial; MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura; PVA: Permeabilidade ao Vapor de Água; TR: Total de Repetições.

Fonte: Autora, 2022.

Melo et al. (2009) constataram que a adição de goma xantana não melhora os aspectos de afinidade do material filmogênico com a água, enquanto Machado et al. (2012), Dantas et al. (2015) e Carissimi (2017) produziram biofilmes com propriedade antioxidante, onde os primeiros autores verificaram que a sua incorporação com erva-mate não influenciou nas propriedades de barreira. Já Criollo et al. (2020) constataram que os filmes degradam em um espaço de tempo bastante curto se comparado ao plástico convencional, em especial a formulação de amido com quitosano estudada. Para aplicações em escala industrial, os métodos de extrusão sopro de filme tubular e o *tape-casting* fornecem praticidade e eficácia (SAKANAKA, 2007; BORGES et al., 2017).

4.4 Aplicações dos filmes biodegradáveis

Mohr et al. (2015) aplicaram os biofilmes diretamente em superfícies de tomates, a fim de aumentar a vida de prateleira dos frutos e obtiveram resultados mais satisfatórios na formulação que continha 5% de fécula de mandioca. Silva et al. (2020) fizeram aplicação em goiaba, em conjunto com baixas temperaturas, para evitar danos por mosca-das-frutas. Já Dantas et al. (2015) estudaram aplicação dos filmes para embalar azeite de dendê e evitar a oxidação do mesmo, a formulação mais bem-sucedida no estudo foi com incorporação de 20% de polpa de manga, enquanto Carissimi (2017) empregou para óleo de girassol e salmão (Figura 9).

Figura 9 – Aplicação do filme em filés de salmão



Fonte: Carissimi, 2017.

Rodrigues et al. (2018) revestiram ovos de mesa e constataram um aumento na vida útil do produto em temperatura ambiente. Jorge et al. (2021) aplicaram biofilme via spray em bananas e observaram redução na taxa de escurecimento enzimático e, conseqüentemente, um aumento na vida útil, fato também visto no trabalho de Reis et al. (2006), onde se usou pepino

japonês (*Cucumis sativus* L.) e auxílio de refrigeração, sendo o melhor resultado visto na elaboração do filme com 4% de fécula. Sueiro et al. (2016) ainda sugerem que os filmes sejam usados na área farmacêutica e indústria cosmética.

Ainda que os autores proponham diversas formas de uso dos filmes, existe disponível no mercado uma sacola biodegradável elaborada com amido de mandioca (Figura 10), a qual foi desenvolvida pela empresa Avani Eco (CARNEIRO, 2018). Monks (2017) afirma que o material é totalmente elaborado com materiais biológicos: óleo vegetal, resinas orgânicas e amido proveniente de mandioca. A embalagem se decompõe em cerca de alguns meses em terra ou água, mas também se dissolve de modo instantâneo em água quente, o que levou seu criador Kevin Kumala a beber o produto com a finalidade de demonstrar que não há perigo para as formas de vida que o consumirem.

Figura 10 – Sacolas biodegradáveis de amido de mandioca da Avani Eco: *Griphole* (A) e *T-shirt Bag* (B).



Fonte: adaptado de Avani, [s/d].

4.5 Aspectos econômicos acerca dos filmes biodegradáveis

A mandioca é uma matéria-prima de baixo custo e possui grande disponibilidade, enquanto alguns aditivos como a pululana e a celulose bacteriana têm custos mais elevados por serem matérias nobres (SUEIRO et al., 2016). De acordo com Souza (2021), o uso da fécula de mandioca é atrativo economicamente tendo em vista que o quilo chega a custar R\$ 0,30, ao passo que um polietileno custa cerca de R\$ 4,00 e é um dos plásticos convencionais mais em conta. No entanto, as embalagens biodegradáveis têm custos mais elevados que as convencionais, chegando a custar 10 vezes mais, ainda que sejam provenientes de amido, visto que existem outros custos envolvidos. Em escala industrial, as quantidades das matérias-primas são maiores e conseqüentemente requerem maquinários maiores.

O cultivo de mandioca para extração do amido permanece com o papel central em torno da alimentação da população, o que pode ser desvantajoso à produção de bioplásticos, além disso a vantagem de degradação da bioembalagem também pode ser vista como uma desvantagem, uma vez que se necessita colocar alimentos dentro da embalagem, a qual pode ter uma vida de prateleira inferior ao que se armazena (SOUZA, 2021). Outro aspecto com relação à produção em larga escala do biofilme é que o método mais utilizado não é tão produtivo devido aos extensos períodos de secagem, uma alternativa seria adaptar ao *casting* contínuo, no qual a radiação infravermelha, a elevada temperatura e a circulação de ar intensa possibilitam o processamento do biofilme em tempos mais curtos (SILVA, 2022).

4.6 Aspectos legislativos acerca dos filmes biodegradáveis

Ao rotular um produto como “biodegradável”, entende-se que a sua degradação decorre da ação dos microrganismos, fato vantajoso ao meio ambiente, uma vez que não há liberação de resíduos tóxicos ao longo do processo. Ademais, o modo de fabricação e posteriores etapas da cadeia precisam estar em sintonia com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 14, no qual a prevenção e a limitação da poluição da vida na água são almeçadas (MAIA NETO, 2021). No entanto, segundo as NU (2022), os oceanos continuam em perigo e um dos motivos ainda é a contaminação marinha por plásticos, pois em 2021 mais de 17 milhões de toneladas foram para os oceanos, correspondendo a 85% do lixo marinho, e está previsto que a quantidade chegue a triplicar para 2040.

A Alemanha já proibiu a comercialização de plásticos que são descartáveis, incluindo embalagens para alimentos feitas de poliestireno (RFI, 2021) e, em toda a Europa, plásticos não biodegradáveis ou não compostáveis estão proibidos desde de 14 de janeiro de 2022, afetando sacolas e embalagens de alimentos. Caso a lei seja desobedecida, multas muito elevadas são aplicadas, tudo isso para prevenir que minúsculas partículas retornem à cadeia alimentar de modo indesejado: no seu prato (LOMONACO, 2022).

De acordo com o Greenpeace (2020), a regulamentação dos plásticos biodegradáveis contém brechas e não é uniforme universalmente, a Europa e os Estados Unidos da América (EUA) são os mais desenvolvidos quanto às estruturas legais, enquanto a Itália proibiu sacos plásticos desde 2012, sendo favorável ao uso de biodegradáveis, especialmente sacolas compostáveis, porém os EUA também proíbem plásticos biodegradáveis ou compostáveis que sejam de uso único. No Brasil, a legislação acerca de embalagens é feita pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e

Qualidade Industrial (Inmetro), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e outros órgãos dependendo da finalidade da embalagem (ABRE, [s/d]).

A RDC N° 91, de 11 de maio de 2001, traz um “regulamento técnico: critérios gerais para embalagens e equipamentos em contato com os alimentos”, onde é especificado que a embalagem precisa ser elaborada com boas práticas de fabricação, não transmita substâncias indesejáveis aos alimentos, não represente risco à saúde humana e outras orientações abrangentes (BRASIL, 2001). Dessa forma, as embalagens biodegradáveis devem seguir algumas normas legislativas, as quais variam de região para região.

5 CONCLUSÕES

Cada método apresenta divergências quanto aos modos de produção de filmes biodegradáveis a partir da mandioca, mas também há similaridades, cada ajuste vai depender da formulação empregada, ou seja, da concentração de amido, do tipo do amido, da quantidade de plastificante ou sua ausência e também das incorporações realizadas, além das tecnologias à disposição do pesquisador.

Dentre os modos de caracterização das bioembalagens, a espessura, as propriedades mecânicas e permeabilidade ao vapor d’água são algumas das análises mais realizadas.

As características e propriedades físico-químicas dos biofilmes dependem da formulação elaborada, as quais são determinantes para aplicação em produtos. Além disso, uma vantagem dos filmes é que o tempo de degradação é inferior aos plásticos já comumente usados no mercado.

Os filmes biodegradáveis podem ser aplicados diretamente em diversas frutas e outros produtos alimentícios visando o aumento da vida de prateleira deles e também podem ser úteis em indústria de fármacos e de cosméticos, além da possibilidade de termoformar como sacolas dependendo da sua formulação.

O amido de mandioca é bastante disponível e possui baixo custo, mas as adições na composição dos biofilmes tornam o produto mais custoso. A embalagem final ainda precisa seguir as normas legislativas vigentes da região onde será comercializada, apesar de não dispor de um consenso bem estruturado, ainda com brechas nas leis acerca desse tipo de envoltório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Estudo ABRE macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo**. Apresentação março de 2022:

retrospecto de 2021 e perspectivas para o ano de 2022. 2021. Disponível em:<<https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2021-2/>> Acesso em: 07 Set. 2022.

ABRE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Legislação**. [s/d]. Disponível em:<<https://www.abre.org.br/legislacao/>> Acesso em: 06 Set. 2022.

ALLEM, A. C. The origins and taxonomy of cassava. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. **Cassava: biology, production and utilization**. New York: Wallingford, UK, 2002. p. 1-16.

ALVES, A. A. C. **Fisiologia da mandioca**. Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMPF, 1990. 25 p.

AMARAL, D. P. et al. **Material biodegradável à base de amido de mandioca (*Manihot esculenta*) para aplicação na conservação de alimentos**. In: Anais do 15º Congresso Brasileiro de Polímeros – 15 CBPOL, 2019, Bento Gonçalves – RS, 2019. p. 721-725.

ARENAS, A. M. Z. **Filme biodegradável à base de fécula de mandioca como potencial indicador de mudança de pH**. 2012. Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, 2012.

AVANI. **Griphole**. [s/d]. Disponível em:<<https://avanieco.com/product/griphole/>>. Acesso em: 04 Set. 2022.

AVANI. **T-shirt Bag**. [s/d]. Disponível em:<<https://avanieco.com/product/cassava-bag/>>. Acesso em: 04 Set. 2022.

AVÉROUS, L. Biodegradable multiphase systems bases on plasticized starch: a review. **Journal of Macromolecular Science – Polymer Reviews**, v. C44, n. 3, p. 231-274, 2004.

BORGES, A. L. G. et al. **Preparação de filmes biodegradáveis de amido de mandioca pelo método *tape-casting* e com secagem ao sol**. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ, 2017, São Carlos – SP, Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 4. São Paulo: Blucher, 2017. p. 2237-2249. DOI: 10.5151/chemeng-cobeq2017-391.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 91, de 11 de maio de 2001. Aprova o regulamento técnico critérios gerais para embalagens e equipamentos em contato com alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 13 de jun. de 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002. Aprova o regulamento técnico sobre rotulagem de alimentos embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 de set. de 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 de set. de 2005.

BRASIL. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA). Resolução nº 12, de 1978 - aprova “Normas técnicas especiais”. **Diário Oficial da União**, 24 de julho de 1978.

CARISSIMI, M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis a partir de amido de mandioca e microalga verde**. 2017. Dissertação, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017.

CARNEIRO, R. Sacolinha feita de mandioca é biodegradável e se dissolve na água. **Época**, 2018. Disponível em:<<https://epocanegocios.globo.com/Empresa/noticia/2018/07/sacolinha-feita-de-mandioca-e-biodegradavel-e-se-dissolve-na-agua.html>>. Acesso em: 04 Set. 2022.

CEREDA, M. P. et al. Balança hidrostática como forma de avaliação do teor de massa seca e amido. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologias, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3, p. 3046.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Mandioca**: raiz, farinha e fécula. 2017. Disponível em:<[CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Mandioca**: análise mensal junho de 2021. 2021. Disponível em:<<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca>>. Acesso em: 27 Jul. 2022.](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/15104_87ab84e372faa534fa097d39adcb71c5#:~:text=3.2.&text=O%20maior%20produtor%20mundial%20%C3%A9,toneladas%20de%20raiz%20de%20mandioca.> . Acesso em: 27 Jul. 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

CRIOLLO, D. M. Z. et al. Biopelícula a partir de almidón de banana verde (*Musa paradisiaca*) y mandioca (*Manihot esculenta*). **Revista Pakamuros**, v. 8, n. 4, p. 15-30, 2020.

CUQ, B. et al. Functional Properties of Myofibrillar Protein-based Biopackaging as Affected by Filme Thickness. **Journal of Food Science**, v. 61, n. 3, p. 580-584, 1996. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb13163.x>.

DAMODARAN, S. et al. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DANTAS, E. A. et al. Caracterização e avaliação das propriedades antioxidantes de filmes biodegradáveis incorporados com polpas de frutas tropicais. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131458>.

DA POIAN, A. et al. **Bioquímica I**. v. 3. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009. 210 p.

DIAS, A. B. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amidos e de farinha de arroz**. 2008. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.

DIAS, A. C. C. et al. **Produção de filme biodegradável a partir da fécula de mandioca com bagaço de cana-de-açúcar como fortificante**. 2019. Trabalho Final de Projeto de Iniciação

Científica Integrada, Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio, Instituto Federal Catarinense – Campus Araquari, Araquari, SC, 2019.

FAKHOURI, F. M. **Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis à base de amido e gelatina**. 2009. Tese, Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos Campinas, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2009.

FARIA, F. de O. et al. Propriedades físicas de filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca, álcool polivinílico e montmorilonita. **Química Nova**, v. 35, n. 3, p. 487-492, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000300009>.

FIALHO, J. de F.; VIEIRA, E. A. **Mandioca no Cerrado**: orientações técnicas. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. 208 p.

FOOD INGREDIENTS BRASIL - FIB. Dossiê Amidos: O amido e suas propriedades para o setor alimentício. **Food Ingredients Brasil**, v.17, n. 35, 2015.

GONTARD, N. et al. Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 1, p. 206-211, 1993.

GREENPEACE. **Biodegradable Plastics: Breaking Down the Facts**: Production, composition and environmental impact. Greenpeace East Asia, 2020.

HENRIQUE, C. M. et al. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 28, n. 1, p. 231-240, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000100033>.

JORGE, E. N. de L. F. et al. Avaliação sensorial de banana `prata´ a partir da aplicação de biofilme comestível de amido de mandioca. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 2, n. 6, 2021.

LEAL, R. C.; NETO MOITA, J. M. Amido: Entre a Ciência e Cultura. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 75-78, 2013.

LOMONACO, A. Proibição de plásticos descartáveis na Europa: sugestões do Papa para salvar o meio ambiente. **Vatican News**, 2022. Disponível em: <<https://www.vaticannews.va/pt/papa/news/2022-01/pasticos-descartaveis-europa-papa-francisco-ecologia.html>>. Acesso em: 06 Set. 2022.

MACHADO, B. A. S. et al. Desenvolvimento e avaliação da eficácia de filmes biodegradáveis de amido de mandioca com nanocelulose como reforço e com extrato de erva-mate como aditivo antioxidante. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 2085-2091, 2012.

MAIA NETO, J. Contribuições do Poder Legislativo no combate à poluição causada por plástico. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Junho 2021 (**Boletim Legislativo nº 95, de 2021**). Disponível em: <<http://www.senado.leg.br/estudos>>. Acesso em: 06 Set. 2022.

MELO, C. P. B. de. et al. **Microestrutura, isoterma de adsorção e permeabilidade ao vapor de água de filmes de amido de mandioca e goma xantana produzidos por extrusão**. In: X Congresso Brasileiro de Polímeros, 2009, Foz do Iguaçu. Livro de Resumos. São Carlos – SP: Cubo Multimídia, 2009. p. 84-86.

MIRANDA, V. R.; CARVALHO, A. J. F. Blendas compatíveis de amido termoplástico e polietileno de baixa densidade compatibilizadas com ácido cítrico. **Polímeros**, v. 21, n. 5, p. 353-360, 2011.

MOHR, L. C. et al. **Estudo da concentração de fécula de mandioca na utilização em filmes biodegradáveis para o recobrimento de tomates**. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ, 2014, Florianópolis – SC, Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2. São Paulo: Blucher, 2015. p. 3254-326.

MONKS, K. Plastic you can drink: a solution for pollution? **CNN**, 2017. Disponível em: <<https://edition.cnn.com/2017/01/16/world/cassava-plastic/index.html>>. Acesso em: 05 Set. 2022.

NORDESTE RURAL. Produzir manivas de mandioca em estufa é mais rápido para formar o plantio. **Nordeste Rural**, 2018.

NU – NACIONES UNIDAS. **Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2022**. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, 2022. Disponível em: <<https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/>>. Acesso em: 06 Set. 2022.

REIS, K. C. dos. et al. Pepino japonês (*Cucumis sativus* L.) submetido ao tratamento com fécula de mandioca. **Ciênc. Agrotec.**, v. 30, n. 3, p. 487-493, 2006.

RESIDUOALL. **O impacto dos resíduos de embalagens no meio ambiente**. 2017. Disponível em: <<http://residuoall.com.br/2017/03/29/o-impacto-dos-residuos-de-embalagens-no-meioambiente/>>. Acesso em: 27 Jul. 2022.

RFI. Alemanha proíbe definitivamente a venda de plásticos descartáveis. **G1**, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2021/07/03/alemanha-proibe-definitivamente-a-venda-de-plasticos-descartaveis.ghtml>>. Acesso em: 06 Set. 2022.

RHIM, J-W. et al. Bio-nanocomposites for food packaging applications. **Progress in Polymer Science**, v. 38 n. 10-11, p. 1629–1652, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008>.

RODRIGUES, J. C. et al. **Biofilme à base de fécula de mandioca na conservação de ovos de mesa**. In: 28º CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2018, Goiânia – GO, Zootecnia Brasil. Goiânia: 2018.

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

SANTOS, A. M. P.; YOSHIDA, C. M. P. **Embalagens** (Técnicos em alimentos). Recife: EDUFRPE, 2011. 152 p.

SHIMAZU, A. A. et al. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 79-88, 2007.

SIBBR – SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA. *Manihot esculenta*. In: **Ficha de Espécies do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr)**, [s/d]. Disponível em: <https://ferramentas.sibbr.gov.br/ficha/bin/view/especie/manihot_esculenta>. Acesso em 27 Jul. 2022.

SILVA, J. G. da. et al. Applications of biodegradable films in guava to control fruit flies. **Rev. Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 62-71, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n107rc.b>

SILVA, J. Filme biodegradável para embalar alimentos usa gelatina e nanocristais de celulose. **Embrapa**, 2022. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/72022238/filme-biodegradavel-para-embalar-alimentos-usa-gelatina-e-nanocristais-de-celulose#:~:text=T%C3%A9cnica%20permite%20o%20uso%20de,est%C3%A1vel%2C%20biodegrad%C3%A1vel%20e%20at%C3%A9%20comest%C3%ADvel>>. Acesso em: 05 Set. 2022.

SILVA, J. R. B. da. A mandioca, a guerra e a segurança alimentar do Brasil e do mundo. **Bonifácio**, 2022. Disponível em:< <https://bonifacio.net.br/a-mandioca-a-guerra-e-a-seguranca-alimentar-do-brasil-e-o-mundo/>>. Acesso em: 28 Jul. 2022.

SOUZA, C. O. de. et al. Estudo comparativo da caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca contendo polpas de manga e acerola. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 262-267, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000200006>.

SOUZA, L. de S.; FIALHO, J. de F. Cultivo da Mandioca para a Região do Cerrado. In: SOUZA, L. de S. et al. **Sistemas de Produção**, v. 8. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003.

SOUZA, V. De onde vem o que eu uso: milho e mandioca viram plástico sustentável e até comestível. **G1**, 2021. Disponível em:<<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/agro-a-industria-riqueza-do-brasil/noticia/2021/06/02/de-onde-vem-o-que-eu-uso-milho-e-mandioca-viram-plastico-sustentavel-e-ate-comestivel.ghtml>>. Acesso em: 05 Set. 2022.

SUEIRO, A. C. et al. Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana. **Química Nova**, v. 39, n. 9, p. 1059-1064, 2016. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160118>.