

## **Amido – Uma revisão sobre os produtos biopoliméricos e suas derivações**

**Starch – A review of biopolymeric products and their derivations**

**Almidón – Una revisión de los productos biopoliméricos y sus derivaciones**

Recebido: 23/08/2022 | Revisado: 04/09/2022 | Aceito: 06/09/2022 | Publicado: 14/09/2022

### **Maria Jaqueline Bailão Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1593-1118>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [jaquebio.js@gmail.com](mailto:jaquebio.js@gmail.com)

### **Fabrine Silva Alves**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6602-1942>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [fafa.bine@yahoo.com.br](mailto:fafa.bine@yahoo.com.br)

### **Rafael Nascimento Queiroz**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5529-8906>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [rafael.queiroz@gmail.com](mailto:rafael.queiroz@gmail.com)

### **Nian Iury Ferrão Queiroz**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6894-9250>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [nianqueiroz2@gmail.com](mailto:nianqueiroz2@gmail.com)

### **Gleice Vasconcelos Pereira do Lago**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9702-250X>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [gleice\\_vasconcelos@hotmail.com](mailto:gleice_vasconcelos@hotmail.com)

### **Glauce Vasconcelos da Silva Pereira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4900-1664>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [glaucopereira@ufpa.br](mailto:glaucopereira@ufpa.br)

### **Nathiel Sarges Moraes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4727-0951>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [nathiel.sed1@gmail.com](mailto:nathiel.sed1@gmail.com)

### **Márcio Marcelo da Silva Pessoa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4804-9690>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [mmpessoa@icloud.com](mailto:mmpessoa@icloud.com)

### **José de Arimatéia Rodrigues do Rego**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0891-6438>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [jr2reg@gmail.com](mailto:jr2reg@gmail.com)

### **Davi do Socorro Barros Brasil**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1461-7306>  
Universidade Federal do Pará, Brasil  
E-mail: [davibb@ufpa.br](mailto:davibb@ufpa.br)

## **Resumo**

Os estudos relacionados ao emprego de biofilmes como substitutos de componentes plásticos convencionais vêm ganhando forças e recebendo considerável atenção no âmbito de recursos renováveis. A busca por embalagens alternativas, provenientes de medidas socioambientais que possam agregar bom desempenho, sem prejudicar o meio ambiente, tem sido alvo de estudos, pesquisas e investimentos. Dessa forma, este trabalho vem demonstrar a evolução de investigações relacionadas aos biopolímeros, sendo o amido a matéria-prima em foco utilizada na produção de bioplásticos, o qual é totalmente biodegradável e disponível na natureza. Para isto uma investigação foi realizada, que ilustra uma pesquisa descritiva e levantamento bibliográfico, correlacionando resultados de buscas em bancos de dados de revistas científicas disponíveis. Na revisão bibliográfica foram abordadas as bases de dados científicos PubMed (Publisher MEDLINE - National Library of Medicine), Science Direct e Periódicos Capes, utilizou-se como critérios de classificação filtros disponíveis nas próprias plataformas, onde foi definida a periodicidade de 10 anos (2012 a 2022). Em geral, os sistemas de publicações de artigos, demonstraram certa variabilidade, mas como podemos constatar, existe em todas as plataformas uma tendência crescente nas realizações de pesquisas com decorrer dos anos. Verificou-se neste estudo que a aplicação de diversas metodologias e insumos na constituição de filmes

biodegradáveis apresentaram grande influência nas características mecânicas e físico-químicas dos materiais, contribuindo para o avanço em pesquisas.

**Palavras-chave:** Biodegradável; Meio ambiente; Bioplástico; Amido.

### **Abstract**

Studies related to the use of biofilms as substitutes for conventional plastic components have been gaining strength and receiving considerable attention in the field of renewable resources. The search for alternative packaging, from socio-environmental measures that can add good performance, without harming the environment, has been the subject of studies, research and investments. In this way, this work demonstrates the evolution of investigations related to biopolymers, with starch being the raw material in focus used in the production of bioplastics, which is fully biodegradable and available in nature. For this, an investigation was carried out, which illustrates descriptive research and bibliographic survey, correlating search results in databases of available scientific journals. In the bibliographic review, the scientific databases PubMed (Publisher MEDLINE - National Library of Medicine), Science Direct and Capes Periodicals were addressed, using as classification criteria filters available on the platforms themselves, where the periodicity of 10 years was defined (2012 to 2022). In general, the systems for publishing articles showed some variability, but as we can see, there is a growing trend in research over the years on all platforms. It was found in this study that the application of different methodologies and inputs in the constitution of biodegradable films had a great influence on the mechanical and physicochemical characteristics of the materials, contributing to the advancement of research.

**Keywords:** Biodegradable; Environment; Bioplastic; Starch.

### **Resumen**

Los estudios relacionados con el uso de biofilms como sustitutos de los componentes plásticos convencionales han ido cobrando fuerza y recibiendo una atención considerable en el campo de los recursos renovables. La búsqueda de envases alternativos, a partir de medidas socioambientales que puedan sumar buen desempeño, sin dañar el medio ambiente, ha sido objeto de estudios, investigaciones e inversiones. Esta manera, este trabajo demuestra la evolución de las investigaciones relacionadas con los biopolímeros, siendo el almidón la materia prima en foco utilizada en la producción de bioplásticos, que es totalmente biodegradable y disponible en la naturaleza. Para ello se realizó una investigación, la cual ilustra una investigación descriptiva y levantamiento bibliográfico, correlacionando resultados de búsqueda en bases de datos de revistas científicas disponibles. En la revisión bibliográfica se abordaron las bases de datos científicas PubMed (Publisher MEDLINE - National Library of Medicine), Science Direct y Capes Periodicals, utilizando como criterio de clasificación los filtros disponibles en las propias plataformas, donde se definió la periodicidad de 10 años (2012 a 2022). En general, los sistemas de publicación de artículos mostraron cierta variabilidad, pero como podemos ver, existe una tendencia creciente en la investigación a lo largo de los años en todas las plataformas. Se encontró en este estudio que la aplicación de diferentes metodologías e insumos en la constitución de películas biodegradables tuvo una gran influencia en las características mecánicas y fisicoquímicas de los materiales, contribuyendo al avance de la investigación.

**Palabras clave:** Biodegradable; Medio ambiente; Bioplástico; Almidón.

## **1. Introdução**

Sabemos que a humanidade tem buscado formas de otimizar a natureza e o bem-estar da sociedade, com o objetivo de aumentar a expectativa de vida. Mas já paramos para pensar que o meio ambiente e sua degradação influencia diretamente nessa busca? Um exemplo clássico é a desenfreada produção de resíduos gerados pelos seres vivos, o maior deles são os resíduos poliméricos que apresentam três aspectos preocupantes: o volume crescente, a complexidade de aproveitamento e a poluição ambiental. A decomposição dos plásticos sintéticos é muito lenta, com perspectivas de degradação em um período de até 500 anos, estes polímeros geram resíduos menores, que apesar de não serem evidentes, se acumulam nos ecossistemas em grandes quantidades ameaçando a fauna e a flora (Farias, et al., 2016). O planeta poderá atingir já em 2025, mais de 600 milhões de toneladas de derivados poliméricos, com base na produção anual — um aumento de 50% em relação à fabricação atual (Revista Galileu, 2020).

A premissa de substituir esses materiais nocivos sem causar intempéries ao mercado atual é uma alternativa considerada pelos meios científicos, conciliando a qualidade dos materiais e o pós-consumo consciente em todos os setores.

O amido é, atualmente, um dos biopolímeros mais abordados em estudos de desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, já que apresenta facilidade e baixo custo na obtenção da matéria-prima, e simplificada forma de produção de

biofilmes. Estudos mostraram que as embalagens obtidas a partir de amido de mandioca agregam boa homogeneidade, flexibilidade, transparência e biodegradabilidade rápida ao material produzido características importantes na determinação de um biopolímero promissor (Luchese, et al., 2017; Luchese, et al., 2018).

Este componente além de baixo custo é encontrado em abundante constituindo diversos tipos de frutos e raízes. É bastante utilizado na culinária, porém necessita de tratamento especial para a elaboração de biofilmes mais resistentes, como a adição de fibras e plasticizantes (Nunes, et al., 2021)

Os biopolímeros são considerados potenciais substitutos de derivados poliméricos convencionais, especialmente para constituição de diversos tipos de embalagens, devido à sua disponibilidade na natureza e capacidade de degradação. Desta forma, apresenta características necessárias para o desenvolvimento de produtos ecologicamente aceitáveis. No entanto, para competir com os derivados fósseis, esses materiais precisam apresentar propriedades físico-químicas similares aos materiais precursores (Miri, et al., 2015).

Com isso, apresentamos nesta pesquisa, um levantamento bibliográfico utilizando metodologias da pesquisa descritiva, para investigar as diversas formas e aplicações de elaboração de biofilmes a base de amido mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) com o objetivo de orientar e oferecer a comunidade científica informações acerca do desenvolvimento de pesquisas de biomateriais.

## 2. Metodologia

A motivação desta investigação foi realizar uma pesquisa descritiva, efetivando um levantamento bibliográfico, para correlacionar resultados de buscas em bancos de dados de revistas científicas disponíveis, com obtenção de artigos que pudessem relacionar as diferentes aplicações do amido de mandioca na matriz de produção de biofilmes, através da utilização de duas palavras chaves, “Cassava Starch” e “Biopolymers”, tradução “Amido de Mandioca” e “Biopolímeros”, nas pesquisas online. Na revisão bibliográfica foram abordadas as bases de dados científicos PubMed (Publisher MEDLINE - *National Library of Medicine*), Science Direct e Periódicos Capes, citados no Quadro 01.

Dentre as referências selecionadas utilizou-se como critérios de classificação filtros disponíveis nas próprias plataformas, onde foi definida a periodicidade de 10 anos (2012 a 2022) para as publicações, somente artigos com tradução nos idiomas inglês e português, também foi selecionado como parâmetro “artigos de pesquisa”, realizando a exclusão de “artigos de revisão”, “livros e enciclopédias” acessíveis nestes canais, selecionando como subáreas de interesse “Polímeros”, “Biopolímeros”, “Biodegradabilidade”, “Glicerol”, dentre outros.

É importante citar que o interesse crescente nos últimos anos acerca de biopolímeros tem sido evidenciado, devido oferecer comprovadas alternativas de custo-benefício, abundância de matéria-prima e biodegradabilidade, em comparação com polímeros convencionais, considerando que diversos setores industriais necessitam de aplicações e investimentos em produtos que agregam menos poluentes, como por exemplo, a agricultura. A biodegradação é uma solução muito promissora, uma vez que é menos agressiva ao meio ambiente, além de completar o ciclo de carbono e do nitrogênio. E quando o polímero biodegradável é submetido às condições de degeneração, obtém-se um material rico em carbono e que pode retornar ao solo com efeitos benéficos (Rosa & Pantano Filho, 2003).

Durante a pesquisa, também foi considerado selecionar 11 artigos de maior relevância, relativo a cada ano citado (2012 - 2022) e em ordem decrescente, estes artigos foram escolhidos segundo a proposta deste trabalho para investigação sobre diferentes aplicações do amido de mandioca como matéria-prima na produção de biofilmes. Os dados correspondentes são apresentados no Quadro 02.

### 3. Resultados

No Quadro 1, são definidos parâmetros de buscas como, o Unitermo utilizado em pesquisas, a Base de Dados de investigação, o número total de resultados obtidos em cada investigação, os periódicos que se adequaram ao objetivo das buscas e a motivação quanto à inadequação dos artigos remanescentes pesquisados.

**Quadro 1.** Dados gerais de levantamento bibliográfico realizado nas bases de informações.

Unitermo Investigado	Base de Dados	Número de resultados	Periódicos Adequados	Motivação
Cassava Starch and Biopolymers	PubMed	204	185	S/ Concordância com a pesquisa
	Science Direct	639	200	Artigos s/ correspondência
	Periódicos Capes	207	61	S/ Concordância com a pesquisa

Fonte: Autores (2022).

Na Figura 1 apresenta dados acerca de pesquisas desenvolvidas no site de busca PubMed, no gráfico são confrontados a quantidade de publicações em relação a cada ano, por um período de 10 anos. Podemos destacar que no ano de 2019 houve maior incidência de publicações de trabalhos científicos utilizando como fonte de matéria-prima o amido de mandioca na constituição de biofilmes, seguido do ano de 2021 com apresentação de 35 artigos divulgados. A menor taxa de trabalhos científicos foi evidenciada no ano de 2012 com 16 artigos, demonstrando que neste período as pesquisas em âmbitos de materiais biodegradáveis estavam em processo de expansão.

**Figura 1.** Contagem de publicações científicas nos últimos 10 anos utilizando o buscador PubMed.



Fonte: Autores (2022).

Quanto às pesquisas realizadas na plataforma Science Direct, podemos verificar no gráfico (Figura 2) que há um indicativo crescente de publicações, com destaque para o ano de 2021, que contribuiu com a divulgação de 39 artigos para a comunidade acadêmica, o que evidencia a expansão de trabalhos científicos realizados a partir da exploração de biopolímeros como materiais de suporte para múltiplas aplicações, sendo este um campo emergente que oferece potencial inexplorado para busca de inovações. Em 2012 foram apresentadas somente 3 publicações o que revela um interesse emergente.

**Figura 2.** Contagem de publicações científicas nos últimos 10 anos utilizando o buscador Science Direct.



Fonte: Autores (2022).

A plataforma Periódicos Capes, já demonstrou poucos dados significativos para pesquisas com bases biopoliméricas (Figura 3). As taxas permaneceram semelhantes para os anos de 2022 e 2021 (19 artigos publicados). Podemos verificar também que nos anos de 2016 e 2017 houve baixíssimos índices de publicações, considerando nenhuma ocorrência de artigos em 2012 e 2013. Em geral, os sistemas de publicações de artigos, demonstraram certa variabilidade, mas como podemos constatar, existe em todas as plataformas uma tendência crescente nas realizações de pesquisas com decorrer dos anos. Os biopolímeros mostram um campo em desenvolvimento, com crescente utilização desses materiais não somente para embalagens, mas também em diversos setores, se tornando uma área de grande potencial de estudos para viabilização do seu uso.

**Figura 3.** Contagem de publicações científicas nos últimos 10 anos utilizando o buscador Periódicos Capes.



Fonte: Autores (2022).

No Quadro 2, são apresentados resultados para um total de 11 artigos selecionados como mais relevantes nesta pesquisa e ordenados de forma decrescente quanto ao período de 2012 a 2022, onde são abordados dados sobre Ano de Publicação, Autores, Título da Publicação, Base de Dados e Periódicos. De acordo com as informações descritas no Quadro 02, a base de dados demonstra uma taxa de publicação semelhante para os buscadores Science Direct e PubMed, também podemos observar que os revisores *Carbohydrate Polymers*, *International Journal of Biological Macromolecule* e *Journal Applied Polymer Science* foram as que mais prevaleceram quanto a incidência nos números de publicação. Isto demonstra o

grau de aceitação desses buscadores e revistas científicas, quanto à divulgação de trabalhos acadêmicos envolvendo processos de produção com biomateriais. Cada periódico apresentado no Quadro 2 está sendo descrito de forma sucinta no tópico de discussão.

**Quadro 2.** Artigos mais relevantes observados na pesquisa descritiva.

Ano de Publicação	Autores	Títulos da Publicação	Base de Dados	Periódicos
2022	Boonsuk, P.; Sukolrat, A.; Chantarak, S.; Kelarakis, A. Chaibundit, C.	Poly(vinyl alcohol)/modified cassava starch blends plasticized with glycerol and sorbitol.	Periódicos Capes	J. appl. polym. Sci.
2021	Menezes, F. L. G.; Leite, R. H. L.; Santos, F. K. G.; Aria, A. I.; Aroucha, E. M. M.	TiO <sub>2</sub> -enhanced chitosan/cassava starch biofilms for sustainable food packaging.	Science Direct	Colloids Surf. A physicochem. Eng. Asp.
2020	De Lima, B. C.; Crepaldi, M. I.; Junior, O. O. S.; de Oliveira, A. C.; Martins, A. F.	Biodegradable films based on commercial $\kappa$ -carrageenan and cassava starch to achieve low production costs.	PubMed	Int. J. Biol Macromol.
2019	La Fuente, C. I. A.; de Souza, A. T.; Tadini, C. C.; Augusto, P. E. D.	Ozonation of cassava starch to produce biodegradable films.	PubMed	Int. J. Biol. Macromol.
2018	Ayu, R. S.; Khalina, A.; Harmaen, A. S.; Zaman, K.; Jawaid, M.; Lee, C. H.	Effect of Modified Tapioca Starch on Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of PBS Blends for Food Packaging.	Periódicos Capes	Polym.
2017	Costa, É. K. C.; de Souza, C. O.; da Silva, J. B. A.; Druzian, J. I.	Hydrolysis of part of cassava starch into nanocrystals leads to increased reinforcement of nanocomposite films.	Periódicos Capes	J. Appl. Polym. Sci.
2016	Mellinas, C.; Valdés, A.; Ramos, M.; Burgos, N.; Garrigós, M. C.; Jiménez, A.	Biodegradability of polymer film based on low-density polyethylene and cassava starch.	Science Direct	Int. Biodeterior. Biodegradation
2015	Riyajan, S. A.	Robust and biodegradable polymer of cassava starch and modified natural rubber.	PubMed	Carbohydr. Polym.
2014	Perazzo, K. K.	Properties and antioxidant action of	PubMed	PLoS One.



	Conceição, A. C.; dos Santos, J. C.; Assis, D. J.; Souza, C. O.; Druzian, J. I.	actives cassava starch films incorporated with green tea and palm oil extracts.		
2013	Wu, M.; Wang, L.; Li, D.; Mao, Z.; Adhikari, B.	Comparative study of processing methods for starch/gelatin films.	Science Direct	Carbohydr. Polym.
2012	Müller, C. M. O.; Laurindo, J. B.; Yamashita, F.	Composites of thermoplastic starch and nanoclays produced by extrusion and thermopressing.	Science Direct	Carbohydr. Polym.

Fonte: Autores (2022).

#### 4. Discussão

Sabendo que os biopolímeros são materiais que possuem na matriz química estruturas como polissacarídeos, poliésteres ou poliamidas, sendo um carboidrato encontrado em larga escala na mandioca, cana-de-açúcar, milho, batata, trigo e beterraba, dentre outros, esses fatores tem motivado inúmeros estudos publicados utilizando o amido de mandioca para melhoramento da resistência mecânica de materiais, biocompatibilidade com outros componentes químicos, aumento da biodegradabilidade de produtos, baixa toxicidade e aumento da flexibilidade com perspectivas de aplicações em embalagens especiais. Ampliando as possibilidades de modificações químicas, físicas ou genéticas de insumos (Mali, et al., 2010; Rocha, et al., 2014).

Em pesquisas recentes, foram investigadas uma série de misturas filmogênicas a base de poli(álcool vinílico) (PVA) hidrolisado com amido de mandioca, amido de mandioca altamente oxidado e amido de mandioca pré-gelatinizado, utilizando métodos de fundição de soluções, dando origem a blendas que foram plasticizadas com glicerol ou pela mistura glicerol-sorbitol. Após etapas de caracterização dos filmes, as blendas indicaram uma estrutura de bicamada rica em PVA / rica em amido, independentemente do tipo de plasticizante presente na mistura. O alto grau de intumescimento dos filmes da blenda resultou em rápida degradação no solo após apenas 4 dias. Também foram identificados uma série de filmes que mostraram maior resistência e alongamento na ruptura do que a baixa densidade do polietileno, sugerindo que essas misturas são ambientalmente benignas e candidatas ideais para aplicações generalizadas em produtos derivados do petróleo (Boonsuk, et al., 2022).

Filmes biopoliméricos com adição de nanopartículas também têm sido estudados como alternativa para substituir embalagens sintéticas à base de petróleo, utilizando como matéria-prima fécula de mandioca e quitosana, onde foram adicionadas nanopartículas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) para uso em embalagens de alimentos. Os resultados indicam que as propriedades dos filmes relacionadas à água (permeabilidade, solubilidade e sorção de água) e mecânicas (tensão, alongamento e módulo de Young) são fortemente influenciadas pelas características dos biopolímeros utilizados e podem ser melhoradas com a introdução do TiO<sub>2</sub>. Um exemplo é a sorção de água que foi reduzida com a adição de TiO<sub>2</sub>, o que torna o filme mais hidrofóbico e apresentou maior resistência à tração em mais de 15% e alongamento em mais de 100%. A adição de 1% de TiO<sub>2</sub> também contribuiu para a redução na transmitância de 97% nas regiões UVA, UVB e UVC, o que é um recurso valioso para a preservação de alimentos (Menezes, et al., 2021).

Pela primeira vez, filmes biodegradáveis foram produzidos a partir de amostras comerciais de kappa-carragenina, um composto encontrado em algas vermelhas, e fécula de mandioca em diferentes razões de pesos. Foram avaliadas propriedades físicas, térmicas e mecânicas, e análises de opacidade aparente e cor sugeriram que os filmes apresentaram alta transparência. Alguns filmes demonstraram alta solubilidade em água (39,22%) e baixo grau de intumescimento (391,6%). A menor

permeabilidade ao vapor de água foi observada a  $3,01 \times 10^{-8} \text{ g (Pa m s)}^{-1}$ . A permeabilidade ao óleo variou de 0,0033 a 0,0043  $\text{mm m}^2 \text{ d}^{-1}$ . A estabilidade térmica aumentou com o acréscimo de concentração de amido na mistura. Os filmes biodegradáveis produzidos apresentaram baixo custo com o uso de polissacarídeos comerciais podendo ser usados como embalagens de alimentos (De Lima, et al., 2020).

No estudo de La Fuente e colaboradores (2019) filmes biodegradáveis foram produzidos a partir de fécula de mandioca modificada por ozônio, utilizando a técnica de casting, foi aplicado glicerol como plasticizante e água como solvente ao amido de mandioca nativo e ozonizado. Após caracterizações mecânicas, de barreira e funcionais, morfologia, cristalinidade, cor e opacidade dos filmes, os resultados mostraram que a morfologia dos filmes ozonizados foi mais homogênea em comparação com os filmes produzidos com o amido não modificado, padrões de resistência à tração, módulo de Young e menor alongamento foram otimizados. A permeação do vapor de água e a permeação do oxigênio foram aumentadas com o aumento do tempo de ozonização, o processamento de ozônio resultou em filmes com superfície mais hidrofílica e menor solubilidade após 24h, em suma, o processamento de ozônio mostrou-se uma boa alternativa para a produção de embalagens à base de amido (La Fuente, et al., 2019).

O uso do polímero succinato de polibutileno (PBS) também foi abordado constituindo a mistura de cinco tipos de amido de mandioca modificado, para investigar os efeitos do amido neste componente quanto a estruturação de embalagens de alimentos. O amido de tapioca modificado pode se misturar diretamente com o PBS sem passar pelo processo de gelatanização, reduzindo o período do processo, bem como o custo de produção. Como conclusão, a inserção de amido de tapioca modificado em misturas de polímeros PBS apresenta melhores propriedades de resistência e estabilidade térmica em comparação ao amido puro, no entanto, houve redução de propriedades mecânicas (Ayu, et al., 2018).

Costa e colaboradores (2017) relataram do uso de nanocristais de amido de mandioca para fortalecer filmes nanocompósitos da mesma matriz. Os nanocristais foram obtidos por hidrólise ácida e o nanocompósito a base de amido e glicerol foram processados por métodos de casting e os filmes produzidos foram caracterizados. Os nanocristais com 30% de rendimento apresentaram formas globulares minimamente aglomeradas, de 45 a 178 nm de diâmetro, com índice cristalino de 46%. A taxa de transmissão de vapor de água, resistências à tração e módulo de elasticidade dos filmes foram influenciadas pelo efeito linear da concentração dos nanocristais ( $R^2 = -0,92, 0,91, 0,99$ , respectivamente). A hidrólise de parte do amido de mandioca em nanocristais resultou na redução da permeabilidade e nano reforço dos filmes devido à boa compatibilidade e interação entre ambos, sem influenciar na biodegradabilidade (Costa, et al., 2017).

Em pesquisas também foram testados materiais de base biológica com polietileno linear de baixa densidade (LLDPE) e alto teor de amido termoplástico. Os filmes de 25  $\mu\text{m}$  de espessura foram preparados em soprador com um misturador interno aplicando três tipos de temperaturas: 160°C, 170°C e 165°C. A morfologia e as propriedades térmicas dos materiais foram investigadas em análises de caracterização. Conforme revelado o amido termoplástico obteve-se uma boa dispersão na matriz LLDPE. A biodegradação do material na forma de espécimes de filme foi determinada pela perda de massa, alteração morfológica da superfície e propriedades mecânicas. Os resultados mostraram que mais de 10% do peso do biofilme é degradado após 5 meses no ambiente de compostagem (Mellinas, et al., 2016).

A aplicação de materiais à base de amido para fins de embalagem atraiu interesse significativo por serem recursos baratos e renováveis. Neste estudo investigou-se a preparação e as propriedades de uma nova folha de biopolímero produzida a partir de uma mistura de borracha natural epoxidada maleada (MENR) e borracha natural-g-amido de mandioca (NR-g-CSt). A resistência à água, a resistência ao tolueno e o alongamento na ruptura da mistura de polímero foram aprimorados após a adição do de borracha natural epoxidada maleada em comparação com o NR-g-CSt puro. A resistência à tração máxima e a estabilidade térmica da mistura NR-g-CSt/MENR foram encontradas na mistura NR-g-CSt:MENR 100:50. Os novos filmes demonstraram boa biodegradabilidade no solo (Riyajan, 2015).



Houve investigações para o desenvolvimento de uma embalagem antioxidante totalmente biodegradável com o objetivo de aumentar a vida útil dos produtos alimentícios. Foi desenvolvido um filme ativo de base biológica de amido de mandioca, incorporado com extrato aquoso de chá verde e corante de óleo de palma. Os efeitos dos aditivos do filme foram determinados medindo propriedades mecânicas, de barreira e térmicas. Os filmes de base biológica foram usados para embalar manteiga (mantido por 45 dias) em condições de oxidação acelerada. A ação antioxidante dos filmes ativos foi avaliada por meio da análise do índice de peróxidos, carotenóides totais e polifenóis totais. A mesma análise também avaliou manteiga sem embalagem, embalada em filmes sem aditivos, como controles. Os resultados sugeriram que a incorporação dos antioxidantes extrai propriedades de resistência à tração e barreira ao vapor de água (15 vezes menor) em comparação ao controle sem aditivos e verificou-se que o alto teor de polifenóis no extrato de chá verde pode atuar como agente pró-oxidante, o que sugere que o uso de alta concentração deve ser evitado como aditivos para filmes. Esses resultados suportam a aplicabilidade de um extrato de chá verde e corante carotenótico de dendê em filmes de amido totalmente biodegradáveis e o uso desses materiais em embalagens ativas de produtos gordurosos (Perazzo, et al., 2014).

Nas observações de Wu e parceiros (2013) já é relatada a influência dos métodos de processamento nas propriedades de filmes de amido/gelatina plastificados com glicerol e sorbitol. Quatro diferentes técnicas de processamento foram avaliadas: fundição (casting), prensagem, prensagem seguida de sopro e extrusão seguida de sopro. Dentre os filmes fundidos estudados, aqueles com 3% de amido lipofílico, e plastificados com sorbitol, apresentaram menores valores de WVP e maior resistência à tração. Os filmes obtidos por prensagem e sopro apresentaram pouca expansão durante o sopro, caracterizadas com trincas na superfície, baixa tração e maior WVP. Esses filmes foram as únicas amostras que apresentaram cristalinidade determinada por análise térmica e difração de raios-X. Em conclusão, diferentes técnicas de processamento afetaram significativamente as propriedades desses filmes (Wu, et al., 2013).

A produção de filmes de amido termoplástico (TPS) reforçados com nanoargilas hidrofílicas e hidrofóbicas também foi abordada. A ação da nanoargila hidrofílica foi rebaixar a permeabilidade ao vapor de água devido à formação de um compósito intercalado. As nanoargilas hidrofóbicas aumentaram a rigidez dos filmes, mas não alteraram a resistência à tração. A mistura de nanoargilas com amido termoplástico modifica as propriedades mecânicas e permeabilidade ao vapor de água, e essas alterações estão fortemente associadas à dispersão da nanoargila na matriz polimérica. A adição de nanoargilas a filmes à base de amido é uma forma promissora de aprimorá-los para a fabricação industrial (Müller, et al., 2012).

## 5. Conclusão

A busca por embalagens biodegradáveis que possam corresponder às necessidades primordiais para estabilidade dos alimentos nos âmbitos industriais, contribuindo para preservação do meio ambiente, têm sido uma alternativa para as indústrias plásticas. Com isso, existe uma gama de pesquisas sendo desenvolvidas para melhorar a composição de materiais. Desse modo, verificou-se neste estudo que a aplicação de diversas metodologias e insumos na constituição de filmes biodegradáveis apresentaram grande influência nas características mecânicas e físico-químicas dos materiais, contribuindo para o avanço em pesquisas. As técnicas apresentadas fornecem alternativas para diversos seguimentos de produtos, assistindo as exigências dos mercados consumidores, que buscam optar por embalagens nas quais possam confiar na inviolabilidade e esterilização dos alimentos, assim como no descarte consciente. Por tanto, esta pesquisa demonstrou valiosas colaborações para a comunidade científica envolvida.

## Referências

- Ayu, R. S., Khalina, A., Harmaen, A. S., Zaman, K., Jawaid, M., & Lee, C. H. (2018). Effect of Modified Tapioca Starch on Mechanical, Thermal, and Morphological Properties of PBS Blends for Food Packaging. *Polym.*, 10 (11), 1187.
- Boonsuk, P., Sukolrat, A., Chantarak, S., Kelarakis, A., & Chaibundit, C. (2022). Poly(vinyl alcohol)/Modified Cassava Starch Blends Plasticized with Glycerol and Sorbitol. *J. appl. polym. Sci.*, 139 (24).
- Costa, É. K. C., de Souza, C. O., da Silva, J. B. A., & Druzian, J. I. (2017). Hydrolysis of Part of Cassava Starch Into Nanocrystals Leads to Increased Reinforcement of Nanocomposite Films. *J. Appl. Polym. Sci.*, 134 (41).
- De Lima, B. C., Crepaldi, M. I., Junior, O. O. S., de Oliveira, A. C., Martins, A. F., *et al.* (2020). Biodegradable Films Based on Commercial  $\kappa$ -carrageenan and Cassava Starch to Achieve Low Production Costs. *Int J Biol Macromol.* 165, 582-590.
- Farias, S. S., Siqueira, S. M. C., Cristino, J. H. S., & Rocha, J. M. (2016). Biopolímeros: Uma Alternativa para Promoção do Desenvolvimento Sustentável. *Revista Geonorte*, 7(26), 61-77.
- La Fuente, C. I. A., de Souza, A. T., Tadini, C. C., & Augusto, P. E. D. (2019). Ozonation of Cassava Starch to Produce Biodegradable Films. *Int. J. Biol. Macromol.* 141, 713-720.
- Luchese, C. L., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2017). Starch Content Affects Physicochemical Properties of Corn and Cassava Starch-Based Films. *Ind. Crops. Prod.*, 109, 619-626.
- Luchese, C. L.; Garrido, T. S.; Corralo, J.; Tessaro, I. C.; Koro, C. (2018). Development and Characterization of Cassava Starch Films Incorporated with Blueberry Pomace. *Int. J. Biol. Macromol.*, 106, 834-839.
- Mali, S., Grossmann, M. V. E., & Yamashita, F. (2010). Filmes de Amido: Produção, Propriedades e Potencial de Utilização. *Semina: Ciências Agrárias*, 31 (1), 137-156.
- Mellinas, C., Valdés, A., Ramos, M., Burgos, N., Garrigós, M. C., & Jiménez, A. (2016). Biodegradability of Polymer Film Based on Low Density Polyethylene and Cassava Starch. *Int. Biodeterior. Biodegradation.* 115, 257-265.
- Menezes, F. L. G., Leite, R. H. L., Santos, F. K. G., Aria, A. I., & Aroucha, E. M. M. (2021). TiO<sub>2</sub>-enhanced chitosan/cassava starch biofilms for sustainable food packaging. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* 630, 127-661.
- Miri, N. E., Abdelouahdi, K., Barakat, A., Zahouily, M., Fihri, A., Solhy, A., & Achaby, M. E. (2015). Bio-nanocomposite Films Reinforced with Celulose Nanocrystals: Rheology of Film Forming Solutions, Transparency, Water Vapor Barrier and Tensile Properties of Films. *Carbohydr. Polym.*, 129, 156-167.
- Müller, C. M. O., Laurindo, J. B., & Yamashita, F. (2012). Composites of Thermoplastic Starch and Nanoclays Produced by Extrusion and Thermopressing. *Carbohydr. Polym.* 89 (2), 504-510.
- Nunes, R. S. B., Nascimento, A. A., & Serra, J. C. V. (2021). Obtenção e Caracterização de Compósitos Poliméricos Biodegradáveis Produzidos com Resíduos Agroenergéticos (Bagaço da Cana-de-Açúcar, Amido de Milho e Glicerol), *Acta Ambient. Catarin.* – Unochapecó.
- Perazzo, K. K., Conceição, A. C., dos Santos, J. C., Assis, D. J., Souza, C. O., & Druzian, J. I. (2014). Properties and Antioxidant Action of Actives Cassava Starch Films Incorporated with Green Tea and Palm Oil Extracts. *PLoS One.* 9 (9):e105199.
- Riyajan, S. A. (2015). Robust and Biodegradable Polymer of Cassava Starch and Modified Natural Rubber. *Carbohydr. Polym.* 134, 267-77.
- Rocha, G. O., Farias, M. G., Carvalho, C. W. P., Ascheri, J. L. R., & Galdeano, M. C. (2014). Filmes Compostos Biodegradáveis a Base de Amido de Mandioca e Proteína de Soja. *Polym.*, 24 (5), 587-595.
- Rosa, D. S., & Pantano Filho, R. (2003). Biodegradação: Um Ensaio com Polímeros, São Paulo: Editora Moara, 146P.
- Revista Galileu, 2020. Produção de plástico no mundo pode crescer 50% até 2025 se nada for feito. <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Meio-Ambiente/noticia/2020/12/producao-de-plastico-no-mundo-pode-crescer-50-ate-2025-se-nada-feito.html>
- Wu, M., Wang, L., Li, D., Mao, Z., & Adhikari, B. (2013). Comparative Study of Processing Methods for Starch/Gelatin Films. *Carbohydr. Polym.* 118 (4), 365-370.