

Filmes bionanocompósitos à base de pectina e polpa de cacau: uma possível alternativa às embalagens comuns

DOI: 10.5281/zenodo.15293052

Pedro Henrique Carvalho Lima ^{a*}

There are many materials that can be used as raw materials to produce food packaging. However, most of them pose risks to the environment if they are disposed of improperly or increase the cost of production. To avoid these obstacles, this article presents a review of a cheap and sustainable alternative for food packaging.

Existem muitos materiais que podem ser utilizados como matéria prima para produzir embalagens de alimentos. Porém, a maioria deles representa riscos ao meio ambiente, caso sejam descartados de forma inadequada, ou aumentam o custo de produção. Para evitar esses empecilhos, este artigo apresenta uma revisão sobre uma alternativa barata e sustentável para embalagens de alimentos.

Introdução

Com o ritmo de vida de um cidadão comum do nosso século – tentando equilibrar os mais variados setores dela – a ida para casa, para fazer uma refeição, está se tornando uma atividade cada vez mais rara. A alta demanda de trabalho e o pouco tempo de intervalo que muitos brasileiros vivenciam fazem com que as pessoas optem por refeições fáceis e práticas; as quais, geralmente, são produtos industrializados que utilizam diversos tipos de embalagem. Esse aumento no consumo de produtos industrializados, consequentemente, aumenta também a produção, o uso e o descarte de embalagens de diferentes materiais.

Existem embalagens feitas de ligas metálicas, como o aço, e metais mais comuns, como o alumínio. A liga de aço é formada a partir da fundição da mistura de hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), calcário (CaCO_3) e carvão, processo que pode atingir até 1500 °C. Após essa transformação, ocorre a refinação dessa liga e ela é submetida a diferentes processos físicos e químicos a depender do produto esperado. No caso de embalagens para alimentos, são produzidas folhas estanhadas, mais conhecidas como folhas de flandres, que são, basicamente, folhas de aço laminadas revestidas com estanho.^{1,2} As embalagens são leves e fáceis de serem transportadas, mas podem amassar facilmente e são mais suscetíveis à corrosão, além de demorarem pelo menos 100 anos para serem degradadas pelo meio ambiente.²

Há também embalagens produzidas a partir de celulose e outras feitas de vidro. As embalagens de vidro, por

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: phclima3101@gmail.com

Palavras-chave: Pectina; bionanocompósitos; embalagem natural; cacau.

Recebido em 21 de março de 2025,
Aprovado em 21 de abril de 2025,
Publicado em 01 de maio de 2025.

se tratar de um material inerte, trazem mais segurança aos consumidores, pois impedem a contaminação do alimento, além de serem impermeáveis. Porém, as embalagens são mais pesadas, mais frágeis e dependem de outros fatores para a proteção completa dos alimentos a serem embalados, como o fecho hermético, o que aumenta consideravelmente custo de produção.²

Apesar da variedade de materiais, o mais comum na produção de embalagens continua sendo o plástico, representando 37,47% do total. As embalagens plásticas são mais leves, baratas e fáceis de serem produzidas, além de algumas apresentarem resistência a reações químicas e mudanças físicas. No entanto, os plásticos ainda geram bastante preocupação ao meio ambiente, visto que, em sua maioria, não são biodegradáveis e levam milhares de anos até sua completa degradação pela natureza.²

Diante disso, percebe-se que, independentemente dos materiais utilizados, ainda há uma grande preocupação com a poluição do meio ambiente e os riscos que esses materiais trazem aos seres vivos. O descarte incorreto e a falta de campanhas de conscientização sobre a reciclagem aumentam mais ainda os índices de poluição, causando maiores danos ao meio ambiente, fato que, consequentemente, reduz a qualidade de vida dos seres humanos e de todos os seres vivos do planeta.

Porém, existem diversos estudos que buscam mudar esse cenário. Pesquisas envolvendo a criação de embalagens mais sustentáveis têm surgido com maior frequência, e novos

métodos inovadores e ecológicos de fabricação de embalagens vem sendo desenvolvidos a cada ano.

Um deles, o alvo deste artigo, propôs a produção dos chamados bionanocompósitos, um material inovador que passou a ser mais reconhecido nos últimos anos e que possui a proposta de ser mais ecológico e sustentável. O material seria utilizado em forma de filmes e seria produzido utilizando pectina e polpa de cacau na sua composição. O produto apresentou-se como mais um candidato a embalagens sustentáveis e baratas de serem produzidas, juntando o útil ao agradável.^{3,4}

Metodologia

Pamela e colaboradores utilizaram a polpa de cacau da marca De Marchi e a pectina utilizada possuía grau de metoxilação abaixo de 50%. Além disso, os pesquisadores utilizaram a quitosana da marca Polymar Ciência e Nutrição S/A, que tinha grau de desacetilação igual a 94%. Por fim, também foram utilizados Tripolifosfato de sódio e ácido acético, ambos produtos da Sigma-Aldrich Chemical Company.⁴

O método descrito por Calvo e colaboradores foi utilizado pelos pesquisadores para a síntese das nanopartículas de quitosana.^{4,5,6} A quitosana foi inicialmente solubilizada em uma solução de ácido acético para obter uma concentração de 3% (m/v). Em seguida, adicionou-se gradualmente, sob agitação contínua e a uma taxa controlada de 1 mL/min, uma solução de tripolifosfato de sódio (TPP) a 0,6% (m/v). O surgimento de uma suspensão opalescente após a adição do TPP foi atribuído à formação das nanoestruturas.⁴

Baseando-se no princípio da difração do laser, a carga superficial e o tamanho médio das nanopartículas foram medidos, em triplicata, utilizando amostras das nanopartículas a 25 °C, com a ajuda do equipamento Zetasizer Nano Series (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Worcestershire, UK).⁴

Os autores do trabalho utilizaram o método de *casting* para produzir os filmes bionanocompósitos, que consiste na preparação de uma solução coloidal que posteriormente é seca em uma estufa. O método ocorre em uma rede polimérica, envolvendo ligações cruzadas entre as cadeias e interações intermoleculares, resultando em uma estrutura tridimensional semirrígida.⁵ Os pesquisadores preparam dois filmes comestíveis: um sem nanoestruturas,

que foi preparado utilizando uma solução coloidal de 50 g de água, 48 g da polpa de cacau com cerca de 10 g de sólidos e aproximadamente 3 g de pectina; e outro com nanoestruturas, que consistiu em uma solução de 50 g de nanopartículas (NPs) de quitosana (QS), 48 g de polpa de cacau e aproximadamente 3 g de pectina. Com as soluções prontas, 50 g de cada uma delas foi espalhada em um suporte retangular (15 x 20 cm). A espessura foi controlada com a ajuda de uma barra de nível e as amostras foram secas a temperatura entre 27 °C e 30 °C, por 48 horas.⁴

Os pesquisadores determinaram a espessura dos filmes utilizando um micrômetro digital da marca Mitutoyo Manufacturing, medindo cinco pontos diferentes da área do filme. Utilizou-se os valores obtidos para calcular a permeabilidade de vapor de água e propriedades mecânicas.⁴

Para determinar a permeabilidade ao vapor de água (WVP) dos filmes, Pamela e colaboradores recortaram as amostras em formato circular, com 15,5 cm de diâmetro, e fixaram-nas em células padronizadas de Teflon®, junto com 6 mL de água destilada. Após isso, armazenaram as amostras em uma estufa a 25 °C, com sílica gel para controlar a umidade. A transferência de água através dos filmes foi avaliada por meio de pesagens periódicas das células, sendo feita uma pesagem inicial (antes de serem colocadas na estufa), e após o tempo de 1 h, 2 h, 23 h, 24 h e 25 h. Os pesquisadores calcularam a umidade relativa (RH), a taxa de transmissão de vapor de água (WVTR) e a permeabilidade ao vapor de água (WVP) com os valores de massa obtidos. Todas as análises foram conduzidas em triplicata.⁴

Eles determinaram a resistência mecânica dos filmes utilizando o teste de tensão x deformação sob tração, que se baseia em testes de tração, nos quais submete-se uma amostra de um material a uma força de tração que cresce gradativamente, até que essa amostra seja rompida.⁷ Antes dos testes, as amostras foram armazenadas em um ambiente controlado por 24 h, em que a umidade relativa era de 30% a 24 °C. Depois disso, os pesquisadores cortaram os filmes em forma retangular, com dimensões de 15 mm de largura e 100 mm de comprimento. Utilizou-se um Instron Universal Testing Machine para fazer as análises, e a velocidade de tracionamento da amostra foi de 50 nm/min. Todas as análises foram conduzidas pelo menos 5 vezes cada.⁴

A deformação (ϵ) das amostras foi determinada pela Equação 1, onde L corresponde ao comprimento de elongação do filme durante o experimento e L_0 , ao comprimento do

filme no início do experimento; e a tensão (σ) foi calculada a partir da força necessária para romper o filme, utilizando a Equação 2, onde F é o valor da força utilizada e S é a área seccional do filme. O módulo da elasticidade (E) foi obtido pelo valor da inclinação da reta da curva tensão x deformação.⁴

$$\varepsilon = \left(\frac{L}{L_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (2)$$

As amostras foram submetidas também a uma análise em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), da marca Zeiss, operando com voltagem entre 5,00 kV e 10,00 kV. Uma fina camada de ouro foi depositada sobre as amostras utilizando *Sputter Coater* (Revestimento por pulverização catódica. Melhora a condutividade e reduz efeitos de carga elétrica na amostra.).^{4,8,9}

Por fim, Pamela e colaboradores submeteram os dados a uma análise estatística utilizando o software estatístico Minitab 14.12.0 pelo teste ANOVA e comparando os dados pelo teste de Tukey, com nível de confiança de 95%.⁴

Resultados e discussão

Os pesquisadores obtiveram nanopartículas (NPs) com tamanho médio de aproximadamente 110 ± 4 nm. Como já descrito por Calvo e colaboradores na literatura, o tamanho das NPs é proporcional a concentração de quitosana e TPP nas soluções.^{4,6}

Os autores do trabalho obtiveram o valor de +30 mV para o potencial zeta das soluções coloidais. Esse valor mostra o quanto estável é o sistema, pois uma vez que o módulo do potencial zeta é maior que +20 mV, o sistema coloidal pode ser considerado estável.⁴

Os filmes foram examinados considerando os requisitos listados na Tabela 1. Os pesquisadores perceberam que os filmes contendo apenas a polpa de fruta não cumpriram nenhum dos aspectos da Tabela 1, logo foi preciso

adicionar pectina a solução para a formação correta dos filmes. Quanto aos outros filmes das outras soluções, eles se formaram de forma satisfatória. Concluiu-se que a presença ou a ausência de NPs nas soluções e a concentração do polímero não influenciou nos aspectos da Tabela 1.⁴

Tabela 1. Aspectos utilizados para avaliar os filmes bionanocompósitos. Dados extraídos da referência 4.

Aspecto	Descrição
Continuidade	Amostra sem rupturas ou fraturas após a secagem
Homogeneidade	Amostra sem partículas insolúveis visíveis; áreas com diferentes texturas ou cores
Manuseabilidade	Amostras que puderam ser manuseadas sem que houvesse rupturas

Figura 1. Filme bionanocompósito a base de pectina, polpa de cacau e NPs. Extraído da referência 4.

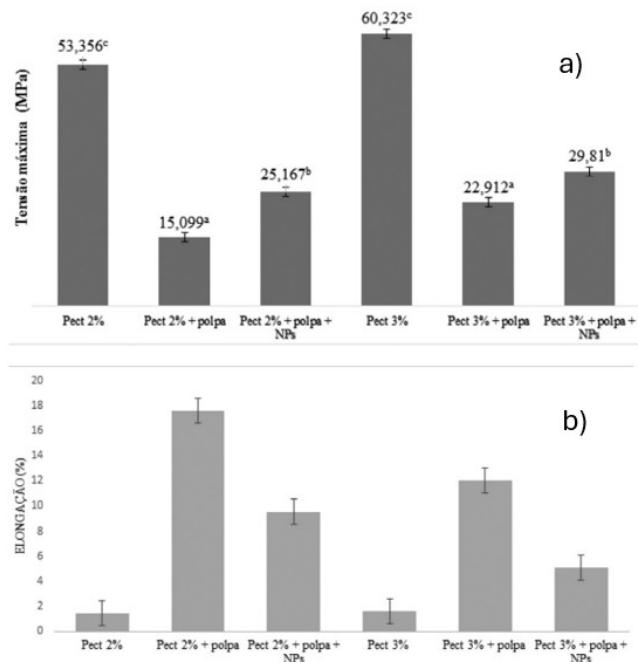


As amostras contendo polpa de cacau apresentaram cor e odor característicos da própria polpa, e essas características sensoriais permaneceram mesmo após um certo tempo de estocagem (aproximadamente 6 meses). A Figura 1 mostra um desses filmes.⁴

Para os filmes que continham uma maior quantidade de polímero e polpa de cacau na composição, a espessura média foi relativamente maior. Isso pode ter acontecido por diversos fatores, como a técnica utilizada no preparo, solventes, a quantidade de sólidos na polpa, entre outros. Pamela e colaboradores perceberam que as amostras que

continham polpa de cacau e uma maior concentração de pectina apresentavam maior espessura. Já nas amostras que continham NPs, o valor da espessura foi relativamente mais baixo. Isso se deve às interações entre as cadeias poliméricas e as nanoestruturas formadas, favorecendo a compactação da matriz. Nas amostras com maior concentração de pectina observou-se a diminuição da permeabilidade, principalmente nos filmes que continham apenas o polímero (sendo esses os filmes com os menores resultados). Por fim, os filmes que continham pectina e a polpa de cacau apresentaram os maiores valores tanto de espessura quanto de WVP, no entanto, esse valor diminui consideravelmente quando são analisadas as amostras com pectina, polpa de cacau e NPs de quitosana.⁴

Figura 2. Valores obtidos de tensão (a) e elongação (b) dos filmes. Extraído da referência 4.



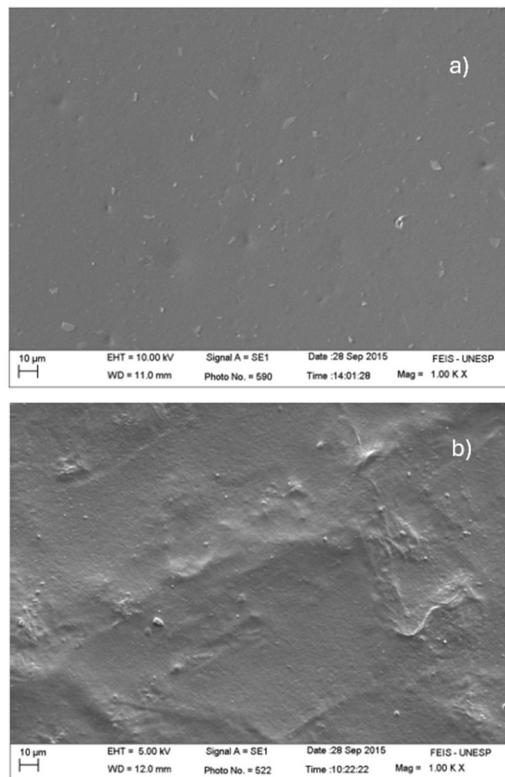
Como observado na Figura 2, os resultados indicam que o aumento da concentração do polímero, aliado à adição de NPs de quitosana, resultou em um incremento nos valores de tensão (σ) e em uma redução na porcentagem de elongação dos filmes. Esse comportamento pode ser atribuído à interação das NPs com a matriz polimérica, que restringe o movimento das cadeias, reduzindo o escoamento e, consequentemente, dificultando a ruptura do filme.⁴

Uma referência utilizada pelos pesquisadores, Moura e colaboradores, afirma que a adição de nanoestruturas aos

filmes pode fortalecer sua resistência mecânica, uma vez que parte do polímero é substituída por essas estruturas na matriz do nanocompósito. Além disso, as nanoestruturas podem preencher os espaços vazios entre as cadeias poliméricas, aumentando a compactação da matriz, o que contribui para a melhoria das propriedades mecânicas do material.^{4,10}

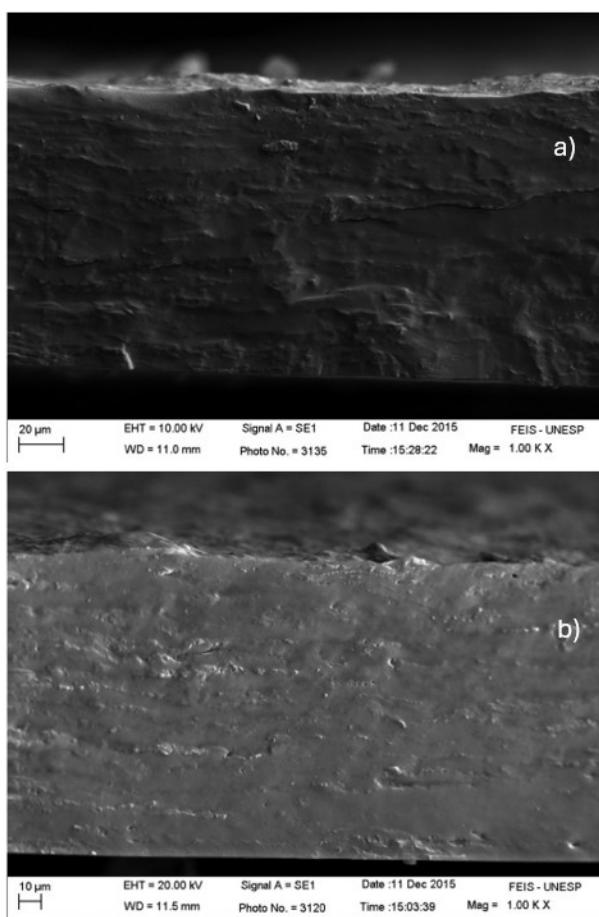
Ainda analisando a Figura 2, percebe-se que há uma melhoria na elongação dos filmes com polpa de cacau, que se mantém com uma elongação maior que as amostras contendo apenas pectina mesmo com a adição das NPs de quitosana. Essa característica é particularmente relevante, pois filmes com maior tenacidade são amplamente requisitados na área de embalagens. Embora a adição de nanopartículas reduza a tenacidade dos filmes, ela ainda se mantém superior à dos filmes compostos exclusivamente por pectina. Esse resultado representa uma inovação no campo, visto que, até o momento, não há registros na literatura sobre o comportamento de filmes à base de polpa de cacau aprimorados com nanopartículas de quitosana que exibam uma tenacidade satisfatória.⁴

Figura 3. Imagens de MEV da superfície dos filmes contendo somente pectina (a) e contendo pectina e polpa de cacau (b). Extraído da referência 4.



A Figura 3 mostra os resultados da MEV feita pelos autores do trabalho revisado na superfície dos filmes contendo somente pectina (Figura 3a) e contendo pectina e polpa de cacau (Figura 3b). Percebe-se que a estrutura contendo polpa de cacau apresenta mais relevos e “imperfeições” que a superfície da amostra que contém apenas pectina. Já a Figura 4 apresenta imagens da MEV feita em fraturas dos filmes sem nanoestruturas (Figura 4a) e dos filmes contendo nanoestruturas (Figura 4b). Percebe-se que as NPs aumentam a compactação do filme pois elas ocupam os poros da estrutura.⁴

Figura 4. Imagens de MEV feita em fraturas dos filmes sem nanoestruturas (a) e dos filmes nanoestruturados (b), com micrografia de 1000 X. Extraído da referência 4.



A Figura 4b evidencia a dispersão das nanopartículas na matriz do filme. Conforme discutido anteriormente, essas partículas atuam como agentes de reforço estrutural e reduzem a interação da matriz com a água, conferindo ao filme maior hidrofobicidade. Essa propriedade é essencial na área de embalagens, pois a incorporação de polpa de fruta

tende a tornar os filmes comestíveis excessivamente hidrofilicos, o que pode comprometer sua aplicabilidade.⁴

A distribuição homogênea das nanopartículas na matriz contribui para a redução da absorção de umidade, ampliando o potencial de aplicação desses filmes. Esse resultado é altamente relevante, pois possibilita o uso de embalagens contendo polpa de cacau sem que sua barreira contra vapores de água seja um fator limitante. Assim, é possível explorar plenamente os benefícios dessa embalagem que, além de atuar como um material protetor, também oferece vantagens nutricionais, propriedades antioxidantes, e características sensoriais como sabor e aroma agradáveis.⁴

Conclusões

Conclui-se que o trabalho de Pamela e pesquisadores foi bem-sucedido, mostrando bons resultados em todas as etapas do processo. A iniciativa de utilizar polpa de cacau reduziu o custo da produção dos filmes e se mostrou inovadora, pois os resultados obtidos estavam sendo documentados pela primeira vez na literatura. Além disso, percebe-se que a durabilidade dos filmes aumentou devido aos materiais utilizados em sua composição, como a polpa de cacau e a quitosana, garantido uma vida útil caso sejam utilizados como embalagens. O uso da microscopia eletrônica por varredura mostrou que as estruturas cumpriam a maioria dos aspectos avaliados, tais como a continuidade do material, sua resistência a manuseabilidade e a homogeneidade do produto, mostrando que os filmes produzidos apresentavam boa qualidade em sua superfície e em seu interior. Por fim, o material produzido pelos pesquisadores se mostrou como uma alternativa viável e ecológica, diminuindo a preocupação com a poluição do meio ambiente pelo produto.

Contribuições por Autor

O artigo, a revisão das referências utilizadas e a inclusão de algumas observações são de Pedro Henrique Carvalho Lima.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Ao grupo PET-Química/IQ/UnB/MEC, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação

(DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 S. S. Oliveira, Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), Instituto Federal Goiano, 2024.
- 2 A. P. M. Landim, C. O. Bernardo, I. B. A. Martins, M. R. Francisco, M. B. Santos e N. R. D. Melo, Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil, *Polímeros*, 2016, **26**, 82–92.
- 3 F. V. Pereira, E. L. D. Paula, J. P. D. Mesquita, A. D. A. Lucas e V. Mano, BIO-BASED NANOCOMPOSITES OBTAINED BY INCORPORATION OF CELLULOSE NANOCRYSTALS INTO BIODEGRADABLE POLYMERS THROUGH CASTING, LAYER-BY-LAYER OR ELECTROSPINNING METHODS, *Química Nova*, 2014, **37**, 1209-1219
- 4 P. Melo, M. R. De Moura and F. A. Aouada, Fabricação de filmes bionanocompósitos à base de pectina e polpa de cacau com potencial uso como embalagem para alimentos, *Química Nova*, 2016, **40**, 247-251.
- 5 F. Z. Hoffmann and F. Siguel, Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.
- 6 P. Calvo, C. Remuñoz-López, J. L. Vila-Jato and M. J. Alonso, Novel hydrophilic chitosan-polyethylene oxide nanoparticles as protein carriers, *Journal of Applied Polymer Science*, 1997, **63**, 125–132.
- 7 M. da Costa, Diagrama Tensão x Deformação, <https://biopdi.com.br/artigos/diagrama-tensao-deformacao/>, (acessado em 21 de março de 2025).
- 8 Sputter Coaters | Nanoscience Instruments, <https://www.nanoscience.com/products/sputter-coaters/>, (acessado em 21 de março de 2025).
- 9 R. Garg, S. Gonuguntla, S. Sk, M. S. Iqbal, A. O. Dada, U. Pal and M. Ahmadipour, Sputtering thin films: Materials, applications, challenges and future directions, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2024, **330**, 103203.
- 10 M. R. De Moura, F. A. Aouada, R. J. Avena-Bustillos, T. H. McHugh, J. M. Krochta and L. H. C. Mattoso, Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropyl methylcellulose edible films with chitosan/tripolyphosphate nanoparticles, *Journal of Food Engineering*, 2009, **92**, 448–453.