



PRODUÇÃO DE BIOFILMES DE AMIDO DE MILHO, PLASTIFICADOS COM GLICEROL E RETICULADOS COM ÁCIDO TÂNICO

Bruna Bettiol¹; Wendel Paulo Silvestre¹, Camila Baldasso¹

¹Universidade de Caxias do Sul (UCS) - Programa de Pós Graduação em Engenharias de Processos e Tecnologias
bbettiol@ucs.br

Palavras-Chave: Gelatinização; Casting; Reticulação.

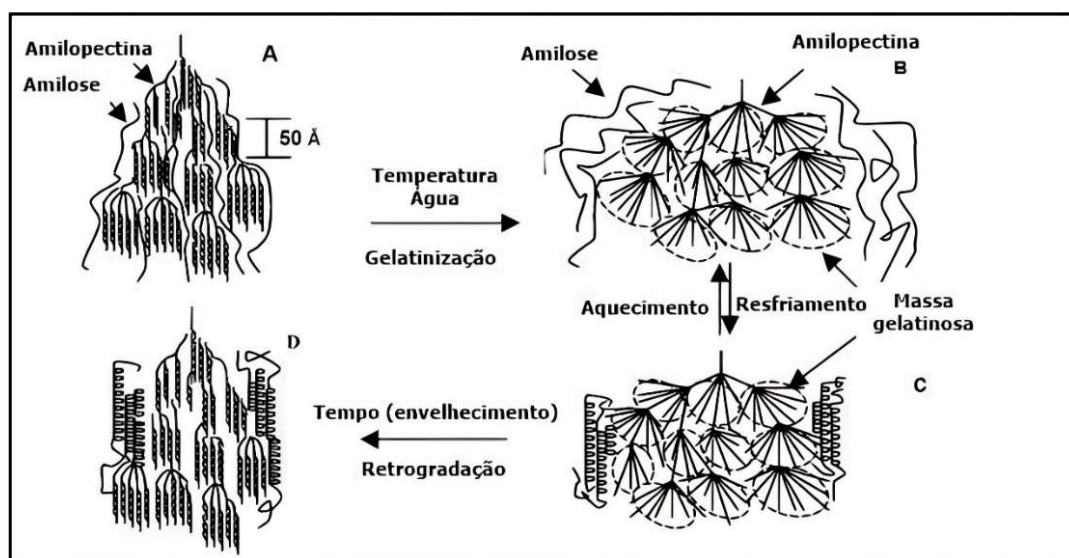
Introdução

Os impactos ambientais associados aos polímeros derivados de fontes fósseis, aliados à perspectiva de esgotamento das reservas de petróleo e seus derivados, têm impulsionado a busca por materiais sustentáveis. Nesse contexto, biofilmes à base de amido vêm apresentando potencial como alternativa aos polímeros sintéticos por serem produzidos a partir de matéria-prima renovável, de baixo custo e amplamente disponível. Entretanto, sua aplicação ainda é limitada por características como baixa resistência mecânica, elevada sensibilidade à umidade e reduzida capacidade de barreira à umidade e gases.

O amido constitui a principal forma de reserva energética das plantas, sendo sintetizado a partir da glicose produzida durante a fotossíntese e armazenado em diferentes órgãos vegetais. Quando há demanda por energia, esse polissacarídeo é hidrolisado, liberando moléculas de glicose, que são utilizadas no metabolismo da planta (KRATZ, 2020). Estruturalmente, o amido é composto por duas macromoléculas: a amilose, caracterizada por cadeias predominantemente lineares e unidas por ligações glicosídicas α -1,4, e a amilopectina, que apresenta estrutura altamente ramificada, contendo ligações α -1,6 nos pontos de ramificação e ligações α -1,4 ao longo da cadeia principal (HABITZREUTER et al., 2022; MANO; MENDES, 2013).

Durante o processamento para obtenção de biofilmes, o amido sofre importantes transformações físico-químicas, destacando-se a gelatinização e a retrogradação. Entre essas, a gelatinização representa uma etapa fundamental para a conversão do amido em um material termoplástico, ocorrendo durante o aquecimento na presença de água. Nesse processo, os grânulos absorvem água, sofrem inchamento e apresentam ruptura parcial de sua estrutura cristalina, com consequente perda da organização molecular. Posteriormente, durante o resfriamento, ocorre a retrogradação, caracterizada pela reorganização das cadeias poliméricas, resultando na expulsão parcial da água previamente absorvida e em alterações nas propriedades físicas e mecânicas do material, conforme demonstrado na Figura 1 (LIU, et al., 2009; MACEDO; MATOS, 2013).

Figura 1 - Representação das fases do amido durante o processamento térmico e envelhecimento: (A) estrutura nativa do amido; (B) gelatinização; (C) resfriamento e formação de gel e (D) retrogradação.



Fonte: Yu; Christie (2005) *apud* Yang *et al.*, (2024).

Para viabilizar a formação dos biofilmes e aumentar sua flexibilidade, é comum a incorporação de plastificantes, sendo o glicerol um dos mais empregados. Sua ação ocorre pela inserção deste entre as cadeias poliméricas do amido, reduzindo as interações intercadeia e aumentando a mobilidade molecular. Consequentemente, o aumento da concentração de glicerol tende a reduzir a resistência à tração do material, efeito este atribuído à sua baixa massa molecular e à capacidade de enfraquecer as ligações de hidrogênio responsáveis pela coesão estrutural da matriz polimérica (ORSUWAN; SOTHORNVIT, 2017; TAPIA-BLÁCIDO; SOBRAL; MENEGALLI, 2011).

Adicionalmente, a incorporação de agentes reticulantes constitui uma estratégia eficaz para o reforço estrutural de matrizes poliméricas à base de amido. Dentre esses compostos, destaca-se o ácido tânico, que é um polifenol de natureza biodegradável obtido principalmente da casca de árvores e outras partes vegetais (SUYENAGA *et al.*, 2015; MANGRICH *et al.*, 2014).

O ácido tânico ($C_{76}H_{52}O_{46}$) é caracterizado pelo baixo custo, elevada biocompatibilidade e crescente aplicação como aditivo em materiais sustentáveis. Este composto destaca-se pela capacidade de interação com macromoléculas poliméricas, atribuída à presença de múltiplos grupos fenólicos e hidroxilas polifenólicas, que possibilitam a formação de ligações de hidrogênio com grupos funcionais como hidroxila, carboxila, amino, éter, sulfonato e fosfato (ZHANG *et al.*, 2023).



Em sistemas amiláceos, o ácido tânico interage preferencialmente com a amilose, cuja estrutura linear favorece a formação de múltiplas ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas com seus anéis aromáticos, promovendo redes poliméricas mais coesas e estáveis (DU *et al.*, 2018). Como consequência, pode ocorrer aumento da resistência mecânica, redução da solubilidade em água, melhoria das propriedades de barreira a gases e à radiação ultravioleta, além do aprimoramento das atividades antioxidante e antimicrobiana dos biofilmes produzidos com esta substância (ZHANG *et al.*, 2023). Resultados semelhantes foram observados por Cheng *et al.* (2025) em filmes compósitos de amido de milho e isolado de proteína de soja reticulados com ácido tânico, os quais apresentaram maior estabilidade térmica, hidrofobicidade, bloqueio à radiação UV e atividade antioxidante, evidenciando seu potencial para aplicação em embalagens ativas para alimentos.

O desenvolvimento de um biofilme à base de amido de milho, glicerol e ácido tânico traz uma abordagem e uma relevância ecológica que converge com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, priorizando a sustentabilidade ambiental. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo aprimorar uma metodologia de produção de biofilmes de amido plastificados com glicerol e reticulados com ácido tânico.

Material e Métodos

A metodologia empregada neste estudo foi baseada no trabalho desenvolvido por Mileti *et al.* (2024), sendo realizadas adequações com o objetivo de aprimorar o processo de formação dos biofilmes e garantir sua reprodutibilidade experimental.

Foram utilizados amido de milho de grau alimentício como matriz polimérica, glicerol (pureza $\geq 99,5$ %) como agente plastificante, ácido tânico em pó, fornecido pelo Laboratório Dinâmica (pureza de 95,6 %), como agente reticulante e água destilada para o preparo das soluções filmogênicas.

Os ensaios foram conduzidos utilizando balança analítica Ohaus, agitador magnético com aquecimento Fisatom – modelo 752A, lavadora ultrassônica Unique – modelo USC1400A, estufa, vidrarias laboratoriais convencionais e placas revestidas com Teflon.

O delineamento experimental foi estabelecido a partir da variação da concentração de ácido tânico, considerada a variável independente do estudo. Foram avaliadas formulações contendo 1,0 %, 3,0 % e 5,0 % m/m de ácido tânico em relação à massa de amido.

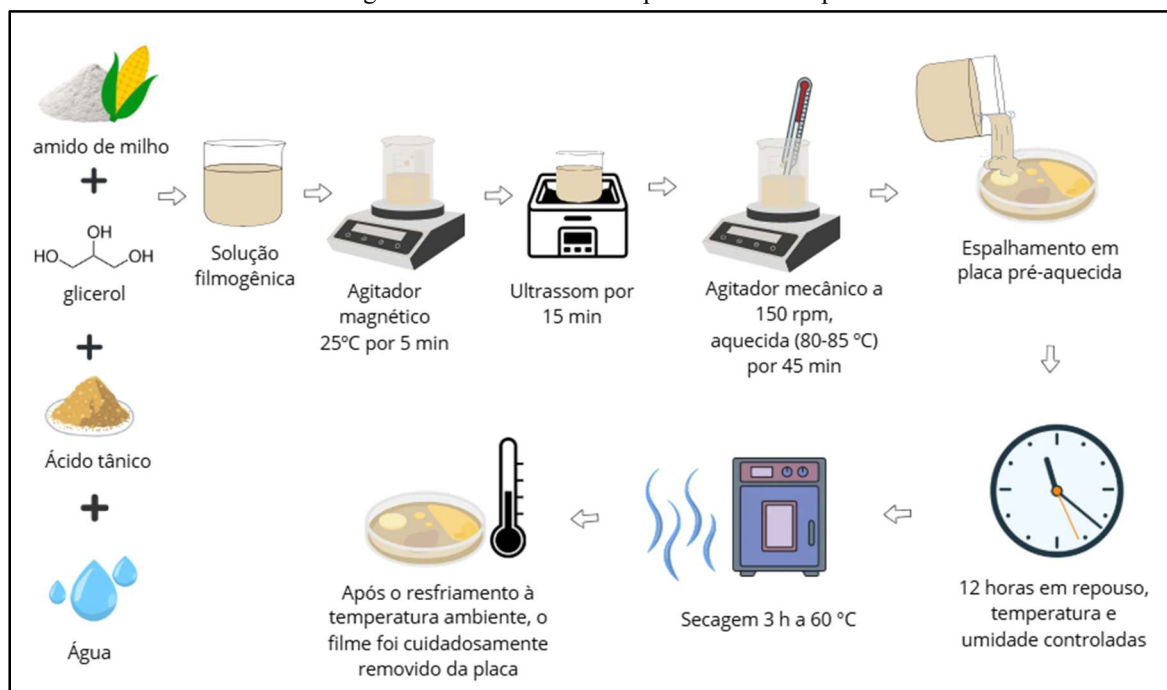
As concentrações de amido de milho e glicerol foram mantidas constantes em todas as formulações, utilizando-se 4,0 g de amido de milho e 2,0 g de glicerol, o que corresponde a uma razão mássica amido:glicerol de 2:1. Para o preparo de cada formulação, os componentes foram dispersos em 100 mL de água destilada.

Inicialmente, realizou-se a pesagem do amido de milho, seguida pela pesagem do glicerol e do ácido tânico, nas proporções definidas para cada formulação. Na sequência, adicionou-se a água destilada e iniciou-se imediatamente a agitação mecânica, conduzida à temperatura ambiente (25 °C) durante 5 min, com o objetivo de promover a homogeneização dos componentes. Posteriormente, a solução foi submetida a banho de ultrassom por 15 min e mantida em repouso por 10 min, visando à eliminação das bolhas de ar formadas durante a agitação e à estabilização do sistema.

Após essa etapa, a solução filmogênica foi submetida à agitação magnética por 45 min, com temperatura controlada entre 80 - 85 °C, promovendo a gelatinização do amido. Finalizado o processo, a solução foi vertida sobre placas revestidas com Teflon pré-aquecidas a 60 °C, utilizando-se o método de *casting* para a obtenção dos biofilmes, conforme ilustrado na Figura 2.

Após o espalhamento, as amostras permaneceram durante 12 h em ambiente com condições monitoradas de temperatura e umidade relativa, registrando-se temperaturas entre 19,9 °C e 20,3 °C e umidade relativa do ar entre 48 % e 51 % e, posteriormente, foram submetidas à secagem em estufa a 60 °C por 3 h. Ao término da secagem, obteve-se um filme sólido contínuo.

Figura 2 - Detalhamento do procedimento experimental.

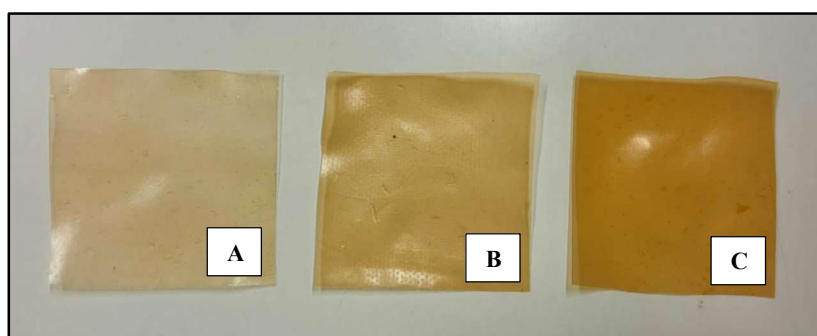


Fonte: Autores (2026).

Resultados e Discussão

Os biofilmes obtidos apresentaram formação contínua e homogênea, sem a ocorrência de fissuras visíveis após o processo de secagem. Visualmente, observou-se que o aumento da concentração de ácido tânico promoveu alterações progressivas na coloração dos filmes, resultando em tonalidades mais escuras com o aumento do teor de agente reticulante, conforme evidenciado na Figura 3. Esse comportamento está de acordo com os resultados reportados por Mileti *et al.* (2024), que observaram uma relação direta entre a concentração de tanino empregada na formulação e a intensidade da coloração dos biofilmes.

Figura 3 - Aspecto visual dos biofilmes de amido de milho plastificados com glicerol e incorporados com diferentes concentrações de ácido tânico: (A) 1 %, (B) 3 % e (C) 5 %, respectivamente.



Fonte: Autores (2026).

O aumento da intensidade da coloração dos biofilmes com a elevação da concentração de ácido tânico pode estar associado à maior absorção de radiação, incluindo na região ultravioleta, particularmente na faixa de 250 - 300 nm. Isso ocorre porque o aumento do teor de ácido tânico eleva a quantidade de grupos fenólicos na matriz, responsáveis pela absorção da radiação UV. Nesses grupos, a absorção promove transições eletrônicas do tipo $\pi \rightarrow \pi^*$, nas quais os elétrons são temporariamente deslocados para níveis de maior energia. Assim, o escurecimento observado pode indicar uma tendência de redução da transmitância da radiação UV através do biofilme (JASROTIA *et al.*, 2025; YANG *et al.*, 2023).

Sob a perspectiva funcional, a menor transmissão de radiação UV pode ser vantajosa para embalagens destinadas a produtos fotossensíveis, pois pode limitar reações de degradação fotoquímica. Entretanto, sob a perspectiva do consumidor, o aumento da intensidade da cor e a consequente redução da transparência podem dificultar a visualização do alimento embalado e influenciar sua aceitação, uma vez que a transparência permite avaliar características como aparência, qualidade e frescor. Portanto, o escurecimento decorrente do aumento da concentração de ácido tânico evidencia a necessidade de avaliar sua aplicabilidade,



considerando o equilíbrio entre a proteção contra a radiação UV e a transparência requerida para a finalidade pretendida (KUANG; YANG; ZOU, 2024).

Além da alteração visual, verificou-se que os filmes contendo ácido tânico apresentaram aspecto superficial uniforme e integridade estrutural durante o manuseio. Segundo a literatura, tais características podem estar associadas à formação de interações intermoleculares entre os grupos fenólicos do ácido tânico e as hidroxilas presentes nas cadeias de amido, favorecendo a formação de uma matriz mais coesa (MA *et al.*, 2022; DU *et al.*, 2018).

Ma *et al.* (2022) observaram que concentrações moderadas de ácido tânico, entre 2,5 a 5,0 % m/m, promovem aumento da flexibilidade e da resistência mecânica devido à formação de ligações de hidrogênio entre as moléculas de reticulante e a matriz de amido. Em contrapartida, concentrações mais elevadas de tanino podem resultar em excesso de reticulação, promovendo o aumento da rigidez e restrição da mobilidade das cadeias poliméricas, fragilizando os filmes.

Mileti *et al.* (2024) verificaram que o aumento da concentração de ácido tânico promoveu a diminuição da viscosidade da solução filmogênica, efeito este atribuído à formação de complexos entre o tanino e as cadeias do amido. Esse efeito foi visualmente percebido durante a etapa de *casting*, na qual as soluções com maiores concentrações de ácido tânico apresentaram maior fluidez e espalhamento sobre as placas de Teflon, convergindo com os resultados descritos pelos autores.

Os resultados apresentados neste estudo possuem caráter preliminar e baseiam-se, predominantemente, em observações qualitativas, como alterações de coloração, percepção visual da redução da viscosidade das soluções filmogênicas e avaliação da uniformidade superficial dos biofilmes obtidos. Esses resultados fornecem indícios iniciais sobre o efeito da reticulação, porém ainda não permitem confirmar, de forma conclusiva, as modificações nas propriedades dos materiais.

Assim, a próxima etapa da pesquisa consistirá na realização de análises quantitativas das propriedades dos biofilmes, incluindo a determinação do teor de umidade, permeabilidade ao vapor de água, ensaio de resistência à tração, espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier, microscopia eletrônica de varredura e análises térmicas por termogravimetria e calorimetria diferencial de varredura. Esses ensaios serão fundamentais para validar quantitativamente os efeitos observados e aprofundar a discussão dos resultados.

Conclusões

A adaptação metodológica proposta foi viável e eficiente para a produção de biofilmes de amido de milho reticulados com ácido tânico, gerando matrizes visualmente homogêneas e estruturalmente íntegras. O estudo estabelece um protocolo reprodutível, fornecendo subsídios



consistentes para a futura caracterização instrumental das propriedades mecânicas, térmicas, de barreira e de biodegradabilidade destes biopolímeros.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UCS, à CAPES, à FAPERGS e ao CNPq pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- CHENG, H.; MCCLEMENTS, D. J.; XU, H.; ZHANG, Z.; ZHANG, R.; JIN, Z.; CHEN, L. Effect of various natural cross-linking agents on the properties of corn starch/soy protein isolate composite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 366, p. 123850, 2025.
- DU, J.; YAO, F.; ZHANG, M.; KHALIFA, I.; LI, K.; LI, C. Effect of persimmon tannin on the physicochemical properties of maize starch with different amylose/amylopectin ratios. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 131, p. 1020-1028, 2019.
- HABITZREUTER, F.; GABRIEL, A. G.; SEMENSATO, L. H.; SANTOS, D. M. dos; CAMPANA FILHO, S. P. **Capítulo 3 - Biopolímeros, processamento e aplicações**. São Paulo: Blucher, p. 91-132, 2022.
- JASROTIA, S.; GUPTA, S.; KUDIPADY, M. L.; PUTTAIAHGOWDA, Y. M.. Development and characterization of chitosan–PVA–tannic acid film for extended shelf life and safety of food products. **ACS Omega**, v. 10, n. 19, p. 19361–19378, 2025.
- KRATZ, R. F. **Biologia essencial para leigos**. Rio de Janeiro: Alta Livros, 2020.
- KUANG, T.; YANG, D.; ZOU, D. The impact of transparent packaging: how transparent packaging for organic foods affects tourists' green purchasing behavior. **Frontiers in Nutrition**, v. 11, art. 1328596, 2024.
- LIU, Hongsheng; XIE, Fengwei; YU, Long; CHEN, Ling; LI, Lin. **Thermal processing of starch-based polymers**. *Progress in Polymer Science*, v. 34, n. 12, p. 1348–1368, 2009.
- MA, H.; QIN, W.; GUO, B.; LI, P. Effect of plant tannin and glycerol on thermoplastic starch: mechanical, structural, antimicrobial and biodegradable properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 295, 2022.
- MACEDO, P. D. G.; MATOS, S. P. de. **Bioquímica dos alimentos: composição, reações e práticas de conservação**. Rio de Janeiro: Érica, 2015.
- MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química verde no tratamento de águas: uso de coagulante derivado do tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, Paraná, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2014.
- MANO, E. B.; MENDES, L. C. **A natureza e os polímeros: meio ambiente, geopolímeros, fitopolímeros e zoopolímeros**. São Paulo: Blucher, 2013.



MILETI, O.; MAMMOLENTI, D.; BALDINO, N.; LUPI, F. R.; GABRIELE, D. Starch films loaded with tannin: the study of rheological and physical properties. International. **Journal of Biological Macromolecules**, v. 254, pt. 3, 2024.

ORSUWAN, A.; SOTHORNVIT, R. Effect of banana and plasticizer types on mechanical, water barrier, and heat sealability of plasticized banana-based films. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, 2017.

SUYENAGA, E. S.; NUNES, A. J. S.; SILVEIRA, M.; KREUTZ, O. C.; MORISSO, F.; OLIVEIRA, C. T.; MOURA, A. B. D. Acácia-negra: potenciais usos de reaproveitamento. **Revista Conhecimento Online**, Novo Hamburgo, v. 1, p. 2-7, 2015.

TAPIA-BLÁCIDO, D.; SOBRAL, P.; MENEGALLI, F. Optimization of amaranth flour films plasticized with glycerol and sorbitol by multi-response analysis. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 1731-1738, 2011.

YANG, J.; CAI, W.; KHAN, M. R.; AHMAD, N.; ZHANG, Z.; MENG, L.; ZHANG, W. Application of tannic acid and Fe^{3+} crosslinking-enhanced pectin films for passion fruit preservation. **Foods**, v. 12, n. 18, art. 3336, 2023.

YANG, Y.; FU, J.; DUAN, Q.; XIE, H.; DONG, X.; YU, L. Strategies and methodologies for improving toughness of starch films. **Foods**, v. 13, n. 24, 2024.

ZHANG, W.; ROY, S.; EZATI, P.; YANG, D.; RHIM, J. Tannic acid: a green crosslinker for biopolymer-based food packaging films. **Trends in Food Science & Technology**, v. 136, p. 11-23, 2023.