



ESTUDO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA DE COMPOSTOS FENÓLICOS DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS ATIVAS

Júlia B. Gonçalves¹; Josimar Vargas¹; Maiara C. de Moraes¹; Laura S. Zardo¹.

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Caxias do Sul
julia.goncalves@caxias.ifrs.edu.br

Palavras-Chave: Blenda Polimérica, Casca do Pinhão, Atividade Antioxidante

Introdução

A crescente demanda por embalagens plásticas, principalmente na indústria alimentícia para o armazenamento e proteção contra a degradação de comestíveis, causa grande preocupação com os impactos ambientais, devido a sua baixa degradabilidade. A duração média de uma embalagem plástica no meio ambiente pode ultrapassar 400 anos, e este fator é agravado, pois a produção mundial anual é de 365 milhões de toneladas de plásticos e apenas 19,5% desse material é reciclado (França et al., 2022). Estes materiais, quando atingem os oceanos podem se transformar em microplásticos (MP), devido a ação das ondas e luz solar. Esses MP, possuem tamanhos menores que 5 mm de diâmetro e são extremamente prejudiciais a vida marinha (Kanojia; Basu, 2025).

Uma alternativa viável para este problema é a utilização de polímeros biodegradáveis como amido e quitosana que são atóxicos, biocompatíveis e que formam blendas com boas maleabilidades e resistência, o que as tornam boas candidatas para acondicionar alimentos.

Além de questões sustentáveis, uma abordagem inovadora são as embalagens ativas, que interagem diretamente com o produto interno, a partir de agentes adicionados que prolongam a vida de prateleira e preservam a qualidade do produto. Tais embalagens podem conter agentes antimicrobianos, antioxidantes ou sequestrantes de gases que ajudam a retardar a decomposição do alimento (Westlake et al., 2022). Compostos fenólicos apresentam elevada atividade antioxidante e podem ser obtidos de resíduos agroindustriais, como casca do pinhão, de uva e acerola (Barros et al., 2021). Para melhor conservação dos produtos alimentícios, liberações graduais destes ativos são esperadas, não sendo interessante que a embalagem libere todos compostos de uma vez, mas sim que ocorra a liberação contínua por um período de tempo maior.

Neste sentido nosso grupo de pesquisa vem trabalhando na elaboração de blendas poliméricas de amido quitosana, incorporadas com extrato da casca do pinhão para utilização como embalagens sustentáveis e ativas. Os resultados obtidos anteriormente são promissores e estiveram focados na síntese dos filmes, caracterização físico-química, determinação do potencial antioxidante e no estudo de degradabilidade dos filmes.

As blendas poliméricas de amido-quitosana obtidas foram na proporção 75/25 m/m, tendo o extrato alcoólico e a solução formadora de filme apresentando altos valores de atividade antioxidante (>90%) pelo teste de captura do radical DPPH. Além disso, o biofilme apresentou grau de intumescimento de 0,36, espessura de 0,17 mm e teor de umidade de 24%. A biodegradabilidade foi testada em dois sistemas, um com a amostra enterrada e outra sobre o solo. Após quinze dias, o primeiro sistema apresentou degradação de 20,8% e o sistema 2



de 32,4%, relativos a perda de massa. Como continuação do projeto anterior, o objetivo do trabalho foi realizar estudos de liberação controlada dos compostos fenólicos presentes na embalagem ativa, utilizando um simulante alimentar de 10% etanol, que simula alimentos aquosos e ácidos. Com isso, estes compostos poderiam evitar a oxidação dos alimentos e aumentar sua conservação.

Material e Métodos

A primeira etapa do projeto consistiu na extração dos compostos fenólicos da casca do pinhão. Primeiramente foi realizada a lavagem e secagem das cascas na estufa à 45°C por 24 h. A extração foi feita utilizando o método de decocção, utilizando como solventes extratores água destilada, etanol e uma mistura de etanol água (1:1). Para extração foram adicionadas 8,75g de casca de pinhão em um béquer, juntamente com 100 mL de solvente e então, foram deixados em agitação magnética por 1 h à 50°C. Após esse período, os extratos foram filtrados e armazenados em tubos Falcon envolvidos com papel-alumínio e mantidos sob refrigeração.

Com a obtenção dos extratos, o próximo passo foi realizar a determinação dos compostos fenólicos totais utilizando a metodologia de Folin-Ciocalteu, adaptada de (Dias, 2016). Até o momento, essa determinação foi realizada apenas para o extrato alcoólico. Para isso, foi construída curva de calibração com padrão de ácido gálico nas concentrações de 20, 40, 60, 80 e 100 mg por litro, e o comprimento de onda usado foi de 765 nm lido em espectrofotômetro.

Para obtenção do filme preparou-se uma solução de amido na concentração de 1,5 g/100 mL de água, sob aquecimento a 50°C e agitação por 1 h. Paralelamente, preparou-se uma solução de quitosana na concentração de 0,5 g/100 mL em ácido acético 1%, também sob agitação durante 1 h. Em seguida, as duas soluções foram misturadas e adicionou-se glicerol como plastificante, seguido da incorporação do extrato da casca de pinhão o qual foi seco em estufa a 40°C por 24 h.

Após obtenção do biofilme, foi conduzido o teste de liberação controlada com simulante alimentar aquoso (10% etanol). Uma amostra de aproximadamente 50 cm² foi mergulha em 20 mL de etanol 10%, permanecendo sob agitação e temperatura ambiente. Nos tempos de 30 min, 1 h, 24 h e 48 h foram recolhidas alíquotas de 0,25 mL do simulante para determinação de fenólicos totais.

Resultados e Discussão

Elaboração dos Biofilmes amido-quitosana incorporados com extrato

Os biofilmes incorporados com o extrato etanólico da casca do pinhão (Figura 1) apresentaram um aspecto homogêneo e bastante maleável.



Figura 1: Biofilme Amido-Quitossana incorporado com extrato etanólico.



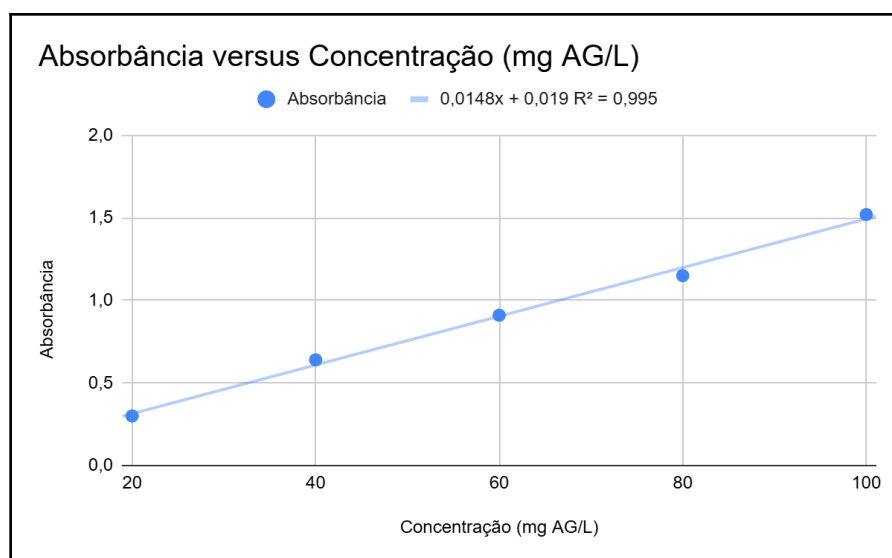
Fonte: Os autores (2026)

As caracterizações físico-químicas, bem como a porcentagem de atividade antioxidante já foram testadas na primeira parte do projeto.

Determinação de Teor de Fenólicos Totais (TFT)

A determinação do teor de compostos fenólicos totais foi realizada com a metodologia Folin-Ciocalteu. Antes de realizar as leituras em espectrofotômetro as amostras foram filtradas. Com isso, a leitura foi feita com concentrações de 20, 40, 60, 80 e 100 mg de Ácido Gálico por litro, e o comprimento de onda usado foi de 765 nm. Foram calculadas as médias das amostras, feitas em triplicata, e a partir dos dados obtidos, construiu-se uma curva de calibração (Figura 2) comparando concentração e absorbância.

Figura 2: Curva de calibração com padrão de ácido gálico.



Fonte: Os autores (2026)



Após, foi feita a análise da absorbância do extrato etanólico, realizada em triplicata, em que os valores obtidos foram de 0,620 na primeira amostra e 0,596 e 0,595 na segunda e terceira, respectivamente, ou seja, em média a absorbância do extrato etanólico foi de 0,6036. Os valores de Teor de Fenólicos Totais (TFT) foram obtidos a partir da curva de calibração $y = 0,0148x + 0,019$ com $R^2 = 0,995$, onde y é a absorbância e x é a concentração (C) de solução de ácido gálico (mg/L) expressa em mg EAG/g de extrato/filme.

Para calcular o TFT utilizamos: $TFT = \frac{C \cdot V(L)}{m}$ (Samanta; Ghosh, 2023), sendo V o volume de extrato (0,1 L), m a massa do extrato após evaporarmos o solvente, resultando de 0,25 g.

Assim, no cálculo para descobrirmos o TFT do extrato etanólico, utilizou-se a média obtida nas análises em triplicata.

$$C = \frac{0,6036 - 0,019}{0,0148} = 39,5 \text{ mg/L} \quad \text{e} \quad TFT = \frac{39,5 \cdot 0,1}{0,25} = 15,8 \text{ mg EAG/g}$$

Liberação controlada de compostos fenólicos dos filmes contendo extrato etanólico

Para a verificação da liberação controlada, foi utilizado o teste com um simulante para alimentos aquosos que consiste em uma solução de etanol 10%. Como descrito anteriormente, o filme foi deixado sob agitação em 20 mL de simulante com agitação branda. O quadro 1, demonstra os valores de absorbâncias das alíquotas retiradas da solução nos tempos 30 min, 1 h, 24 h e 48 h. A massa de filme adicionada ao simulante foi de 0,2855 g.

Quadro 1: valores de absorbância para as alíquotas de simulante coletadas em 30 min, 1 h, 24 h e 48 h.

Tempo	30 min	1 h	24 h	48 h
Absorbância (765 nm)	0,049	0,113	0,151	0,275

Fonte: os autores (2026)

Com base nos dados coletados do Quadro 1, foi possível determinar a concentração (mg/L) e TFT de cada amostra em cada período de tempo, sendo V considerado como volume do simulante (0,02 L).

Para o tempo de **30 min**, temos:

$$C = \frac{0,049 - 0,0119}{0,0148} = 2,5 \text{ mg/L}; \quad TFT = \frac{2,5 \cdot 0,02}{0,2855} = 0,17 \text{ mg EAG/g}.$$



Para o tempo de **1h**, temos:

$$C = \frac{0,113 - 0,0119}{0,0148} = 6,83 \text{ mg/L}; \quad \text{TFT} = \frac{6,831 \cdot 0,02}{0,2855} = 0,47 \text{ mg EAG/g}.$$

Para o tempo de **24 horas**, temos:

$$C = \frac{0,151 - 0,0119}{0,0148} = 9,39 \text{ mg/L}; \quad \text{TPC} = \frac{9,398 \cdot 0,02}{0,2855} = 0,65 \text{ mg EAG/g}.$$

Para o tempo de **48 horas**, temos:

$$C = \frac{0,275 - 0,0119}{0,0148} = 17,77 \text{ mg/L}; \quad \text{TFT} = \frac{17,77 \cdot 0,02}{0,2855} = 1,24 \text{ mg EAG/g}.$$

Os resultados obtidos foram bastante positivos. Os testes demonstram uma liberação maior na primeira hora do contato da embalagem com o filme tendo apresentando um valor de 0,47 mg EAG/g, não sendo também uma liberação muito elevada. Após 24 h o filme continuou transferindo compostos para a solução simulante numa taxa menor, aproximadamente 0,18 mg EAG/g. Para continuarmos com uma liberação controlada, esperava-se que a taxa fosse pequena para os próximos dias, porém após 48 h a quantidade de fenólicos atingiu o valor de 1,24 mg EAG/g. Este resultado pode ser explicado pelo fato do filme iniciar uma degradação a partir deste tempo e liberar uma quantidade maior de fenólicos para a solução. Após 72 h o filme estava praticamente todo degradado.

Conclusões

Considerando os aspectos avaliados, conclui-se que os biofilmes amido-quitosana incorporados com o extrato proveniente da casca do pinhão, apresentaram potencial para aplicação como embalagens ativas, constituindo uma alternativa mais sustentável aos plásticos convencionais. O extrato etanólico apresentou teor de compostos fenólicos totais de 15,8 mg EAG/g, confirmando a presença desses compostos bioativos na casca do pinhão. Além disso, os ensaios de liberação controlada demonstraram um aumento gradual da liberação dos compostos fenólicos ao longo do tempo, indicando que o biofilme foi capaz de promover uma liberação progressiva dos compostos ativos. Dessa forma, os resultados obtidos evidenciam o potencial de aproveitamento desse resíduo agroindustrial no desenvolvimento de materiais sustentáveis com possível aplicação na conservação de alimentos.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Rio Grande do Sul – *Campus* Caxias do Sul, pelo apoio institucional, pela concessão da bolsa que viabilizou a realização deste trabalho e a participação no evento.



Referências

BARROS, N. V. A.; ABREU, B. B.; ROCHA, M. M.; ARAÚJO, M. A. M.; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. R. In vitro bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant activity in biofortified cowpea cultivars, **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 1, e20207191, 2021.

DIAS, T. Determinação do teor de fenólicos totais (Folin-Ciocalteu): espectrofotometria. Método 001. Versão 2. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Nutrição, Laboratório de Nutrição e Análise de Alimentos, 6 p. 2016.

FRANÇA, D.; CHIAREGATO, C. G.; ULRICH, G. D.; VELOSO, H. B.; MESSA, L. L.; ANGELO, L. M.; PEREIRA, T. S.; FAEZ, R. As faces do plástico: uma proposta de aula sobre sustentabilidade. **Quím. Nova Esc**, v. 43, Nº 3, p. 277-286, 2022.

KANOJIA, M.; BASU, B. Discrete-time deterministic model for ocean plastic waste management linked to GDP and policy incentives. **NonlinearScience**, v. 5, 100064, 2025.

SAMANTA, R.; GHOSH M. Optimization of Microwave-assisted Extraction Technique for Flavonoids and Phenolics from the Leaves of *Oroxylum indicum* (L.) Kurtz Using Taguchi L9 Orthogonal Design. **Pharmacognosy Magazine**, 19(1), 97-104, 2023.

WESTLAKE, J. R.; TRAN, M. W.; JIANG, Y.; ZHANG, X.; BURROWS, A. D.; XIE, M. Biodegradable Active Packaging with Controlled Release: Principles, Progress, and Prospects. **ACS Food Sci. Technol.** v. 2, 1183, 1666, 2022.