

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FILMES BIODEGRADÁVEIS REFORÇADOS COM NANOCRISTAIS DE AMIDO DE BANANA

Eloiza Santos Waltmann (PIBIC/CNPq), Igor Matheus dos Passos Francisco, Rita de Cassia Bergamasco (Orientadora). E-mail: rcborgamasco@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Ciências Agrárias – Ciência e Tecnologia de Alimentos /Embalagens de Produtos Alimentares

Palavras-chave: nanocristais; amido de banana; propriedades mecânicas.

RESUMO

Nano reforços de amido têm sido utilizados para melhorar as propriedades mecânicas e de barreira de filmes biodegradáveis, cuja performance geralmente é pobre quando comparada aos polímeros sintéticos. Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da incorporação de nanocristais de amido, obtidos a partir da banana, nas propriedades mecânicas e de espessura de filmes biodegradáveis. Os nanocristais de amido foram preparados por hidrólise ácida utilizando ácido cítrico, variando o tempo de reação e o tratamento aplicado ao amido (autoclavado ou não). Os filmes biodegradáveis foram preparados pelo método *casting*. O método de preparo dos nanocristais não causou alterações significativas nas propriedades mecânicas dos filmes. Contudo, a aplicação de 1% de nanocristais provocou um aumento da espessura, e redução na tensão a ruptura e módulo de Young dos filmes, quando comparado ao filme controle, possivelmente um resultado de uma menor dispersão dos nanocristais no filme.

INTRODUÇÃO

Filmes biodegradáveis têm se tornado um foco de interesse para o desenvolvimento de novas tecnologias que buscam a preservação ambiental e a pesquisa de alternativas de substituição aos filmes sintéticos. Contudo, a utilização de filmes biodegradáveis em escala industrial ainda é limitada, devido ao desafio de produzir embalagens de base biológica que combine a durabilidade da embalagem e o prazo de validade do produto (VIEGAS, 2016).

Uma estratégia para melhorar o desempenho de filmes biodegradáveis é a incorporação de nanocristais de amido, devido ao baixo custo, abundância, biocompatibilidade, biodegradabilidade e não toxicidade, características ideais para a elaboração de filmes biodegradáveis, sendo considerados a fonte renovável mais promissora de nanocarregamento para reforço de polímeros (MUKURUMBIRA *et al.*, 2017).

As propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis, como a resistência mecânica e a flexibilidade são características desejáveis para filmes biodegradáveis, e a

avaliação dessas características é essencial para determinar a viabilidade do filme como embalagem (LIMA *et al.*, 2021).

Este projeto teve por objetivo avaliar a influência da incorporação de nanocristais, obtidos a partir do amido de banana verde, nas propriedades mecânicas e de espessura de filmes biodegradáveis de alginato e gelatina.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os nanocristais de amido de banana foram obtidos a partir da metodologia de Hu *et al.* (2019), variando-se o tempo de hidrólise com ácido cítrico, e o pré tratamento com autoclavagem. Foram obtidos quatro tipos de nanocristais: nanocristais de amido de banana hidrolisado por 4 dias, nanocristais de amido de banana autoclavado e hidrolisado por 4 dias, nanocristais de amido de banana hidrolisado por 6 dias, e nanocristais de amido de banana autoclavado e hidrolisado por 6 dias.

Os filmes foram elaborados a partir de alginato (2% p/v), gelatina (3% p/v), glicerol (2% p/v) e 1% de nanocristais (baseado no teor de sólidos), utilizando a técnica de *casting* (SILVA *et al.*, 2025).

Os filmes receberam siglas para facilitar a leitura: filme com adição de amido de banana (F1), filme com adição de nanocristais de amido de banana autoclavado e hidrolisado por 4 dias (F2), filme com adição de nanocristais de amido de banana hidrolisado por 4 dias (F3), filme com adição de nanocristais de amido de banana hidrolisado por 6 dias (F4), e filme com adição de nanocristais de amido autoclavado e hidrolisado por 6 dias (F5). Todos os filmes foram feitos em triplicata.

A espessura dos filmes foi avaliada a partir da medição e média aritmética de 10 pontos aleatórios em cada filme, com a utilização de um micrômetro (Mitutoyo, resolução 0,001 mm - São Paulo - SP). Para as propriedades mecânicas, as amostras de filmes foram acondicionadas em umidade relativa a 64% por 7 dias em câmara de B.O.D.. As propriedades de tração foram determinadas em texturômetro Stable Micro System (modelo TAXT2i – Inglaterra), conforme a metodologia citada por Silva *et al.* (2025).

Os dados foram analisados para testar diferenças significantes entre os valores obtidos de acordo com o teste de Tukey, com o auxílio do software STATISTICA 7.0 (Microsoft ®).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição de nanocristais de amido provocou um aumento na espessura de 24% (Tabela 1), o que não ocorreu na adição de amido de banana nativo. Ou seja, os nanocristais de amido podem ter provocado um rearranjo das moléculas, produzindo filmes com maior densidade.

O tempo de hidrólise não influenciou na espessura. O tratamento em autoclave apresentou diferença significativa apenas no filme enriquecido com nanocristais de amido de banana hidrolisado por 6 dias, com aumento da espessura.

A presença de nanocristais de amido e de amido nativo reduziram a tensão à ruptura, mas não provocou alterações no alongamento (Tabela 1), o que pode estar relacionado com a auto agregação dos nanocristais de amido, ou seja, uma menor dispersão dos nanocristais no filme. A agregação dos nanocristais pode reduzir a área de superfície, interagindo com a matriz, enfraquecendo sua adesão na interface da matriz composta (MUKURUMBIRA *et al.*, 2017). O tempo de hidrólise não interferiu na tensão à ruptura, e o tratamento com autoclave provocou redução na tensão.

A presença de nanocristais de amido ou de amido nativo não causou alteração no alongamento, independente do tempo de hidrólise e tratamento da amostra.

Para a rigidez (módulo de Young), não houve alteração significativa em relação aos nanocristais, tempo de hidrólise e tratamento térmico, mas houve uma redução de cerca de 38% no filme com amido de banana nativo (Tabela 1). Novamente, essa redução no módulo de Young pode ser devido a menor dispersão dos nanocristais na solução filmogênica. Quando nanocristais de amido são bem dispersos em matrizes de filmes, o resultado são boas propriedades mecânicas, com um aumento na tensão a ruptura e módulo de Young (TEODORO *et al.*, 2015).

Tabela 1. Caracterização dos filmes em relação à espessura e propriedades mecânicas

Amostra	Espessura (mm)	Tensão à ruptura (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (MPa)
FC	0,157 ^b ± 0,030	1,885 ^a ± 0,449	79,39 ^b ± 1,33	14,98 ^a ± 4,23
F1	0,163 ^b ± 0,013	1,526 ^b ± 0,235	80,14 ^b ± 0,20	9,18 ^{bc} ± 2,92
F2	0,203 ^{cd} ± 0,033	1,387 ^{bc} ± 0,208	79,96 ^b ± 0,14	11,26 ^{abc} ± 3,55
F3	0,202 ^{cd} ± 0,012	1,083 ^d ± 0,107	79,94 ^b ± 0,41	10,40 ^{bc} ± 2,05
F4	0,216 ^c ± 0,036	1,148 ^{cd} ± 0,221	73,70 ^a ± 9,08	10,96 ^{bc} ± 2,11
F5	0,273 ^a ± 0,032	1,024 ^d ± 0,117	80,00 ^b ± 0,14	10,60 ^{bc} ± 3,20

Os dados são apresentados como média ± desvio padrão (Mean ± SD). Letras diferentes em uma mesma coluna indicam uma diferença estatisticamente significativa entre as amostras através do teste de Tukey (p < 0,05).

CONCLUSÕES

A aplicação de 1% de nanocristais de amido de banana verde em filmes biodegradáveis de alginato de sódio e gelatina provocou um aumento na espessura e redução nas propriedades mecânicas dos filmes, deixando-os mais rígidos e com menor tensão a ruptura. Maiores estudos devem ser realizados para melhorar as propriedades mecânicas de filmes adicionados de nanocristais de amido.

AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsa durante o período de desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS

HU, J. *et al.* Strategy towards one-step preparation of carboxylic cellulose nanocrystals and nanofibrils with high yield, carboxylation and highly stable dispersibility using innocuous citric acid. **Green Chemistry**, Cambridge, v. 21, n. 8, p. 1956-1964, fev. 2019. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/gc/c8gc03493a>. Acesso em: 25 agosto 2025.

LIMA, L. S. N. H. *et al.* Produção e caracterização dos filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca: influência da temperatura de secagem. *In*: MELLO, R. G.; FREITAS, P. G. de (org.). **Variantes do Meio Ambiente: Atuação, interdisciplinaridade e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: e-Publicar, 2021. v. 2. p. 387-405.

MUKURUMBIRA, A. R., MELLEM, J. J., AMONSOU, E. O. Effects of amadumbe starch nanocrystals on the physicochemical properties of starch biocomposite films. **Carbohydrate polymers**, Amsterdam, v. 165, p. 142-148, jun. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28363534>. Acesso em 25 agosto 2025.

SILVA, J. F. *et al.* Biocolorants extracted from native Cerrado fruits applied in biodegradable packaging: A sustainable and natural alternative. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 49, jan./ago. 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/5tcj3FM5BqKVJtnjPJx6Rrq/?format=html&lang=en>. Acesso em: 16 agosto 2025.

TEODORO, A. P. *et al.* Cassava starch films containing acetylated starch nanoparticles as reinforcement: Physical and mechanical characterization. **Carbohydrate Polymers**, Amsterdam, v. 126, p. 9-16, ago. 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25933516>. Acesso em 25 agosto 2025.

VIEGAS, L. P. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_a417d1c01e3365a5a8197f633019f473. Acesso em: 15 agosto 2025.