

PROPRIEDADES MECÂNICAS, FUNCIONAIS E BIODEGRADAÇÃO DE FILMES A BASE DE AMIDO DE MILHO, MANDIOCA, FRUTA-DO-LOBO E LÍRIO-DO-BREJO

RESUMO

No presente trabalho, filmes de amidos de milho, mandioca, fruta-do-lobo e lírio-do-brejo foram produzidos e submetidos a análises mecânicas, funcionais e de biodegradação. Os tratamentos consistiram da mistura de amido e plastificante (glicerol). Preliminarmente, as pastas filmogênicas (PF) foram preparadas misturando 1,0 g de amido em 1,0 ml de água e gelatinizadas em micro-ondas (100% de potência por 10 s). Os filmes foram obtidos por termoprensagem (a 70 °C, 1 t/ 2 min). Dos filmes se mediram a espessura, solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água, força, resistência e alongação. A biodegradação foi avaliada por análise de imagem medindo a área degradada do filme em solos argilosos e arenosos. As condições finais, as PFs e os filmes foram elaborados, respectivamente, misturando 2 g de amido em 7 g de água e 1,6 g de glicerol e aquecimento em micro-ondas por 20 s, e termoprensados 2 g de PF a 80 °C, aplicando 3 t por 360 s. Os tratamentos produziram filmes com diferentes características. A biodegradação foi mais rápida em solo argiloso. O aumento da concentração de glicerol aumentou a taxa de biodegradação. Os filmes de mandioca foram mais biodegradáveis e os filmes de lírio-do-brejo foram mais resistentes à biodegradação.

INTRODUÇÃO

As propriedades dos amidos nativos são definidas de acordo com as suas estruturas moleculares. Por isso, amidos extraídos de plantas do cerrado podem ser comparados com amidos de milho e mandioca. Amidos de diferentes fontes botânicas aliados a agentes plastificantes podem produzir filmes com diferentes propriedades funcionais.

A técnica *casting* é a mais utilizada na elaboração de soluções filmogênicas que, após aplicação, formam os filmes de amido. Em escala laboratorial, a técnica *casting* consegue ter algumas vantagens na formação de filmes, porém, durante a secagem, a matriz formada produz o filme homogêneo e transparente. Porém, em escala industrial, este processo requer elevado tempo de elaboração (acima de 24 h) e custos devido ao grande gasto energético durante a secagem (RIBEIRO et al., 2017).

No entanto, a elaboração de pastas filmogênicas (PF) de amido usando micro-ondas apresenta vantagens na gelatinização e redução de custos operacionais. Aliado a técnicas rápidas de formação de filmes, os custos diminuem drasticamente. A elaboração de PFs em micro-ondas pode minimizar a quantidade de água e plastificante e tempo, e a termoprensagem torna o processo rápido e barato (PORNUSUKSOMBOON et al., 2016).

A biodegradação dos filmes é influenciada por fatores climáticos (umidade e temperatura) e/o efeito edáfico (atributos físicos, químicos e microbiológicos dos solos) (EMADIAN et al., 2017). A biodegradação depende da natureza do polímero utilizado e das condições ambientais, as quais podem variar desde a exposição a fatores abióticos até a assimilação por um microrganismo vivo (microbiota do solo), que por meio de suas enzimas consomem o filme usado no seu metabolismo (ZANELA et al., 2015).

OBJETIVO

O presente projeto teve por objetivo analisar as características físicas e mecânicas de filmes elaborados a base de amidos e glicerol previamente gelatinizados em microondas e termoprensados, e analisar a biodegradação dos filmes em função do tempo e tipo de solo aplicados.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Preliminarmente aplicou-se o método *casting* com o objetivo de comparação subjetiva e do aspecto visual do filme de fruta-do-lobo, comparando-o com filmes produzidos com solução filmogênica aquecida em microondas e termoprensadas, e com pasta filmogênica produzida em microondas e termoprensada. Os filmes estão registrados na Figura 1.



Figura 1. Filmes de amido de fruta-do-lobo elaborados com métodos: A) *casting*, B) solução filmogênica aquecida em micro-ondas e termoprensada, C) pasta filmogênica produzida em micro-ondas e termoprensada.

A Figura 1B mostra o filme mais opaco em relação ao filme da Figura 1A que se apresenta mais transparente e brilhoso. No entanto, o tempo e a quantidade de materiais utilizados pelo segundo método são mais vantajosos, uma vez que o tempo utilizado para preparar a solução filmogênica é de 10 a 30 s em relação de 6 a 8 min utilizados no método *casting*, além de requerer 24 h a mais para secar e produzir o filme, enquanto na termoprensagem só se requer uns minutos para esse fim. Essas diferenças subjetivas entre os produtos de ambos métodos de elaboração de filmes sugerem que o método usando micro-ondas para a elaboração da pasta filmogênica precisa maiores estudos para ter, no final, um filme transparente e brilhoso semelhante a plásticos petroquímicos. A opacidade do filme da Figura 1C foi devido à formação de grumos pela pouca quantidade de água e tempo de gelatinização. Por isso, se realizaram testes para encontrar o tempo de radiação necessário para a completa gelatinização e a quantidade de massa de amido e água adicionados de 40 e 50% de glicerol. Na termoprensagem foram realizados testes para encontrar a temperatura e pressão ideal. Os dois testes se mostram na Figura 2.

Para o amido de mandioca foi necessário adaptar a concentração de glicerol (20 e 30%). Com glicerol a 40%, os filmes aderiam-se nas placas. Os resultados das análises físicas, físico-químicas e mecânicas realizadas nos filmes elaborados a base dos amidos de mandioca, fruta-do-lobo, milho e lírio-do-brejo, estão na Tabela 1.

A espessura identifica a homogeneidade do filme, além de se relacionar com as propriedades mecânicas e de Pva (FERNANDES et al., 2019). A espessura variou de 0,013 a 0,065 mm. O filme de amido de mandioca com 20% de glicerol apresentou o

menor valor igual a 0,013 mm e o filme de amido de lírio-do-brejo contendo 50% de glicerol apresentou a maior espessura igual a 0,065 mm.

Condições para elaboração da pasta filmogênicas	Condições para a formação dos filmes
Massa de amido: 4,0 g	Temperatura da prensa: 80 °C
Massa de água: 7,0 g	Pressão hidráulica: 3,0 ton
Glicerol: 1,6 a 2,0 g	Tempo de prensagem: 360 s
Tempo: 20 s	



Figura 2. À esquerda: Parâmetros utilizados para a elaboração das pastas filmogênicas e para a formação dos filmes por termoprensagem. À direita: Filme termoprensados de amido de fruta-do-lobo.

Tabela 1. Resultados médios e desvio padrão das características dos filmes a base de amido, glicerol e termoprensados.

Tratamento	Espessura (mm)	Solubilidade (%)	P_{va}^* [g (m s Pa) ⁻¹] (x 10 ⁻⁸)	Força (N)	Resistência à tração (MPa)	Elongação (%)
MA20G	0,013±0,001	54,8±16,2	6,19±0,08	17,59±13,92	9,27±6,89	3,08±0,38
MA30G	0,023±0,003	55,5±6,8	7,05±0,34	16,58±13,54	5,38±4,83	2,59±0,63
FL40G	0,023±0,001	54,9±8,1	9,68±0,15	5,59±2,21	1,78±0,76	17,08±9,23
FL50G	0,029±0,003	53,2±23,9	0,13±0,19	3,93±2,11	1,00±0,62	19,42±16,56
MI40G	0,041±0,001	43,7±31,2	0,25±1,14	6,98±5,27	1,20±0,88	17,33±19,51
MI50G	0,053±0,004	43,5±14,3	0,27±0,39	5,40±3,47	1,10±0,54	27,25±16,34
LB40G	0,053±0,001	54,7±6,2	0,17±0,319	21,87±4,15	2,96±0,61	4,67±1,75
LB50G	0,065±0,003	37,4±24,7	0,33±0,68	7,36±1,82	0,81±0,21	11,00±1,39

MA20G e MA30G= filmes de amido de mandioca contendo 20 e 30% de glicerol, respectivamente.

FL40G, FL50G, MI40G, MI50G, LB40G e LB50G= filmes de amido de fruta-do-lobo, milho e lírio-do-brejo contendo 40 e 50% de glicerol, respectivamente.

A solubilidade variou de 14,9 a 55,5% (Tabela 1). Independentemente da concentração de glicerol, com maiores valores para filmes de mandioca (acima de 50%) que podem ser considerados altamente biodegradáveis. Já, o filme de fruta-do-lobo com 40% de glicerol apresentou 14,9% o que o torna um filme com baixo potencial de biodegradação. A alta solubilidade encontrada nos filmes pode ser benéfica para embalagens com menor solubilidade como é o caso de produtos semi-prontos que podem cozidos juntos com os filmes (FERNANDES et al., 2019).

Os valores de P_{va} (Tabela 1) aumentou com o aumento da concentração de glicerol, variando de $6,19 \cdot 10^{-8}$ a $0,13 \cdot 10^{-8} \text{ g (m s Pa)}^{-1}$. O glicerol reduz as ligações intermoleculares da cadeia dos polímeros, aumentando a polaridade do filme. O relaxamento molecular ocasiona maior espaço e mobilidade das cadeias poliméricas do amido (MILLER et al., 2020). Filmes de mandioca e de fruta-de-lobo com 40% de glicerol contendo maior P_{va} podem ser aproveitados como embalagens em alimentos frescos.

O esforço para romper os filmes (Tabela 1) diminuiu com o aumento da concentração de glicerol devido à diminuição da força entre as ligações químicas dos polímeros (GOMES et al., 2018). O filme de lírio-do-brejo com 40% de glicerol requereu 21,87 N para ser rompido, enquanto que os filmes deste com 40% e 50% de glicerol requereram entre 3 e 6 N. Quanto à resistência à tração, o filme de mandioca adicionado de 20% de glicerol

apresentou o maior valor igual a 9,27 Mpa, enquanto que o filme de lírio-do-brejo adicionado de 50% de glicerol apresentou o menor igual a 0,81 Mpa. Os valores de alongação variaram de 3,08 a 27,45%. Ao contrário das outras características mecânicas, a alongação não apresentou relação com o aumento da concentração de glicerol. No experimento realizado por Rodrigues (2019), na produção de filmes biodegradáveis de amido de mandioca com 10% glicerol tiveram a alongação de 5 a 27, valores semelhantes ao encontrado neste estudo.

As variações da biodegradabilidade dos filmes em diferentes solos e tempos de biodegradação estão na Figura 3. As taxas de biodegradação mostram que os filmes de amido de mandioca são mais sensíveis à biodegradação nos diferentes solos utilizados, apresentando valores entre 2 e 3%/dia, chegando a biodegradar-se aproximadamente 90% do filme ao final dos 35 dias de experimentação. Contrariamente, os filmes elaborados com amido de lírio-do-brejo apresentaram menores taxas de biodegradação entre 1,1 e 1,2%/dia, degradando-se 36-45% do filme ao final da experimentação. Os filmes elaborados com amidos de fruta-do-lobo e de milho apresentaram taxas de biodegradação intermediária entre 0,9-2,5%/dia e 1,2-1,5%/dia, respectivamente, chegando-se a biodegradar em torno de 50% do filme.

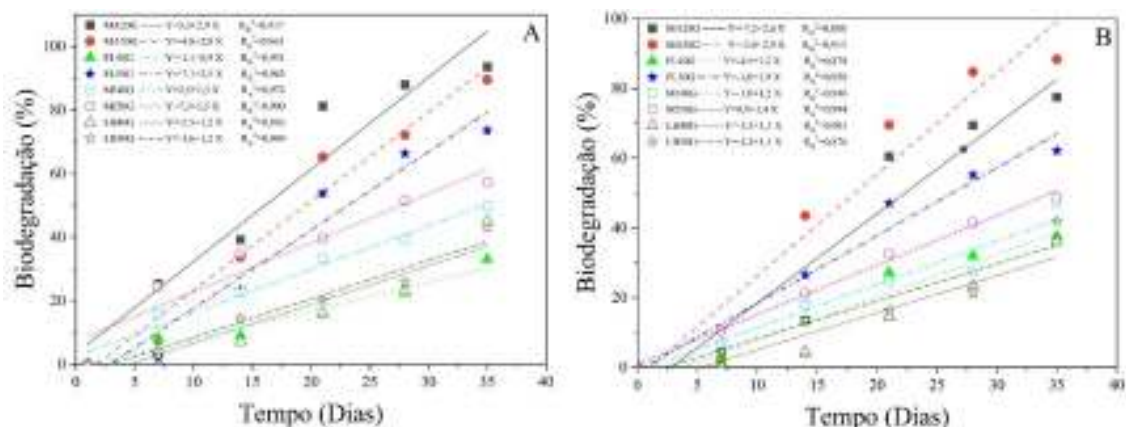


Figura 3. Biodegradabilidade dos filmes de amido de mandioca (MA) e glicerol (G: 20 e 30%) e dos filmes de amidos de fruta-do-lobo (FL), milho (MI) e lírio-do-brejo (LB) e glicerol (G: 40 e 50%). A) Solo argiloso e B) Solo arenoso.

Como se pode notar, a biodegradação depende do tipo de amido utilizado, uma vez que, amidos de diferentes fontes vegetais apresentam diferentes características físicas, físico-químicas e funcionais. No solo argiloso (Figura 3A), é possível observar o aumento da porcentagem de biodegradação dos filmes com o aumento da concentração de glicerol. Comparando os solos, o solo argiloso (Figura 3A) teve maior efeito de seus fatores edáficos sobre a estrutura dos filmes em relação ao solo arenoso (Figura 3B). O solo argiloso apresentou maior capacidade de biodegradação para todos os filmes elaborados no presente estudo, devido a suas características física, química e microbiológica, que se diferencia do solo arenoso. Segundo o estudo realizado por Farias (2022), o solo com textura arenosa apresenta menor teores de cálcio, magnésio e matéria orgânica, resultando em um solo com baixa fertilidade, baixa atividade microbiológica e alta acidez, o que resulta em uma menor eficiência de biodegradação. Nesse sentido a biodegradação dos filmes é influenciada pelas propriedades dos materiais em sua composição (tipo de amido e plastificante) e pelas características edáficas do solo.

CONCLUSÃO

As condições para a elaboração das pastas filmogênicas dos amidos estudados, usando microondas foram: 2 g de amido, 7 g de água, 1,6 a 2 g de glicerol e aquecimento na máxima potência em microondas por 20 s. As condições da termoprensagem foram: 2 g de massa da pasta filmogênica, temperatura de 80 °C, pressão de 3 t e tempo de 360 s. Os filmes se demonstraram visivelmente transparentes e brilhosos e com espessura fina. Filmes elaborados com os amidos utilizados produzir filmes com diferentes características. O aumento da concentração de glicerol influencia diretamente nas características dos filmes, melhorando as propriedades dos filmes, tornando-os mais manuseáveis, em contrapartida, reduziu os valores de força e resistência a tração. Os tipos de solos estudados influenciam na biodegradação dos filmes. Solo argiloso se mostra mais eficaz na biodegradação dos filmes em relação ao solo arenoso. O aumento da concentração de glicerol também proporcionou uma melhora na ação biodegradável dos filmes para todos os tipos de amido. O tipo de amido utilizado também influencia na biodegradação dos filmes. Os filmes de mandioca obtiveram maiores porcentagens de biodegradação, já os filmes de Lírio-do-brejo foram mais resistentes a esse processo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. RIBEIRO, A. E. C.; ASCHERI D. P. R.; ASCHERI, J. L. R. Amidos fosfatados da *Swartzia burchelli*: propriedades físicas e físico-químicas. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 35, n. 1, p. 1-17, 2017.
2. PORNUSUKSOMBOON, K.; HOLLÓ, B. B.; SZÉCSÉNYI, K. M.; KAEWTATIP, K. Properties of baked foams from citric acid modified cassava starch and native cassava starch blends. **Carbohydrate Polymers**, v. 136, n. 20, p. 107-112, 2016.
3. EMADIAN, S. M.; ONAY, T. T.; DEMIREL, B. Biodegradation of bioplastics in natural environments. **Waste Management**, v. 59, n. 1, p. 526-536, 2017.
4. ZANELA, J.; REIS, M. O. R.; DIAS, A. D.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Laminados biodegradáveis de blendas de amido de mandioca e polivinil álcool: efeito da formulação sobre a cor e opacidade. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 25, n. 3, p. 326-329, 2015.
5. FERNANDES, A. C.; CARDOSO, J. C. O.; GOMES, J. N.; ASCHERI, D. P. R. Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de *Solanum lycocarpum* St. Hill e glicerol. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 8, n. 1, p. 362-378, 2019.
6. MILLER, K.; SILCHER, C.; LINDNER, M.; SCHMID, M. Effects of glycerol and sorbitol on optical, mechanical, and gas barrier properties of potato peel-based films. **Packaging Technology and Science**, v. 34, p. 1-13, 2020.
7. GOMES, L. P.; SOUZA, H. K. S.; CAMPIÑA, J. M.; ANDRADE, C. T.; SILVA, A. F.; GONÇALVES, M. P.; PASCHOALIN, V. M. F. Edible chitosan films and their nanosized counterparts exhibit antimicrobial activity and enhanced mechanical and barrier properties. **Molecules**, v. 24, n. 1, p. 1-14, 2018.
8. RODRIGUES, A. A. M. **Revestimentos e filmes biodegradáveis de diferentes fontes amiláceas**: caracterização e aplicação pós-colheita em manga. 2019. 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2019.
9. FARIAS, V. de. P. **Caracterização de filmes elaborados por compressão térmica à base de misturas de amidos e plastificantes**: biodegradabilidade em função do tempo e tipo de solo, 2022. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, 2022.