

## EMBALAGEM DEGRADÁVEL PARA AGRICULTURA COM MACRONUTRIENTE

**CORREIA, Paulo Romano Cruz<sup>1D</sup>; SOBRAL Tales Santos<sup>2IC</sup>; SANTANA, Jamille Santos<sup>3D</sup>; INGRID Graça Ramos<sup>4PD</sup>; DRUZIAN, Janice Izabel<sup>5PD</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia, UFBA, Programa de Pós-Graduação de Biotecnologia/RENORBIO, Salvador, Bahia/  
**Correia:** paulo.romano85@hotmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Federal da Bahia (UFBA), Faculdade de Farmácia, Salvador, Bahia /  
Sobral: tssobral87@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal da Bahia, UFBA, Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química, Salvador, Bahia /  
Santana: jamille.santana@ufba.br

Ramos: ingrid1000@hotmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal da Bahia (UFBA), Programa de Pós-Graduação de Ciências de Alimentos, Salvador, Bahia /  
Druzian: janicedruzian@hotmail.com

### RESUMO

Filmes compostos por poli(butileno adipato co-tereftalato), PBAT (80g) e fosfato (10,15, 20g) foram produzidos por extrusão, e suas propriedades estruturais, térmicas e mecânicas foram avaliadas. As análises termogravimétricas das membranas mostraram que não houve alteração nas temperaturas de decomposição do polímero PBAT com a adição do fosfato, ocorrendo um único evento entre 340-400 °C. Os filmes PBAT/Fosfato, apesar de terem apresentado maiores alterações nas propriedades mecânicas com menores concentrações de fosfato, demonstraram que as maiores concentrações tiveram propriedades superiores, próximas do polímero puro. Os filmes PBAT/Fosfato apresentaram resultados promissores, indicando que estes materiais podem ser empregados em filmes plásticos com macronutrientes para cobertura de solo e embalagens. Também podem ser usados como alternativa para o plantio de mudas diretamente no solo sem a necessidade da sua retirada, sendo também capazes de fornecer às plantas nutrientes de forma gradativa e com potencial de minimizar os danos ambientais causados por materiais poliméricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** embalagem funcional, degradável, nutrientes, liberação, adubação.

### 1. INTRODUÇÃO

O uso de filmes plásticos para cobertura do solo (*mulching*) está largamente disseminado na agricultura. No entanto, a utilização destes filmes associa-se a impacto ambiental negativo devido a geração de resíduos, os quais demandam custos para adequada destinação. A sociedade vem considerando a preservação do meio ambiente com uma questão fundamental, por isso novos polímeros comerciais à base de recursos renováveis ou derivados de petróleo estão sendo desenvolvidos com o intuito de minimizar o impacto gerado pelo grande volume de plásticos descartado na natureza. O poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) tem atraído grande atenção pois suas condições de processamento e propriedades mecânicas são semelhantes àquelas observadas no polietileno de baixa densidade (PEBD), o qual também apresenta elevada massa molar e estrutura molecular ramificada<sup>1, 2</sup> sendo totalmente compatível com a especificação para polímeros compostáveis da ASTM D6400<sup>3</sup>.

O desenvolvimento de embalagens degradáveis para uso na agricultura à base de misturas de minerais (nutrientes) pode oferecer custo altamente competitivo no mercado e novos produtos que possibilitem melhoras nos tratos culturais e produção. A eficácia do produto se dá também pela capacidade de liberação controlada de macronutrientes e micronutrientes para a planta. O fósforo, por sua vez, é o nutriente que as plantas requerem em menor quantidade. Apesar disso, é um dos elementos aplicados em maior quantidade nos solos brasileiros devido à sua baixa disponibilidade natural e grande afinidade da fração mineral do solo por este elemento, o que se torna um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais. Com isso, a adubação fosfatada é imprescindível para a otimização da produção de diversas culturas (EMBRAPA).

Além de ser degradável, as condições de processamento e propriedades mecânicas do PBAT permitem substituir com êxito os polímeros convencionais<sup>4</sup>. Poucos trabalhos avaliaram a adição de macronutrientes e micronutrientes em filmes poliméricos com aplicação na agricultura. Também são escassos os trabalhos que

avaliaram a adição de fosfato em filmes elaborados por extrusão. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma embalagem degradável a partir do polímero PBAT com a adição de fosfato em diferentes concentrações, caracterizando as propriedades estruturais, térmicas e mecânicas para possível aplicação futura no campo da agricultura.

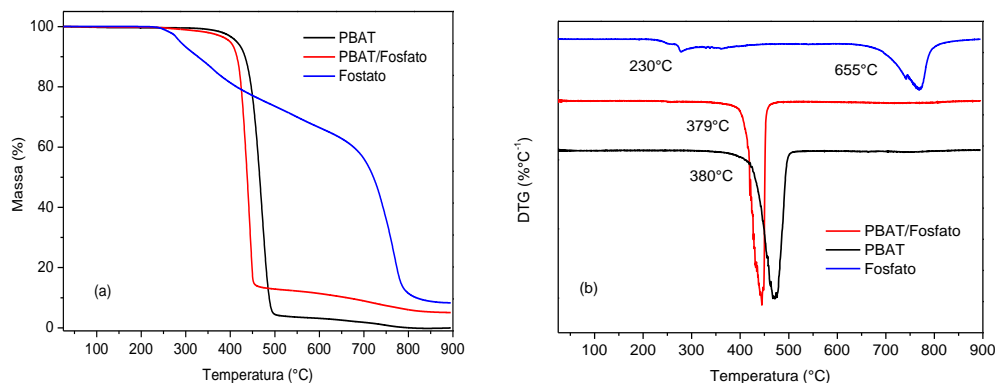
## 2. METODOLOGIA

Para a elaboração dos filmes, 10, 15, 20g de fosfato foram misturados a 80g de PBAT e processados em duplicatas com triplicatas em extrusora dupla rosca plástica AX (modelo DR1640). A velocidade da rosca foi de 60 rpm. O programa de temperatura das zonas 1 a 8 foi 80, 120, 130, 130, 130, 130, 135 e 135° C respectivamente. A temperatura na matriz plana foi de 130°C.

Uma termobalança Perkin Elmer (modelo Pyris 1-TGA) foi utilizada para a obtenção das curvas termogravimétricas: vazão de N<sub>2</sub> = 50 mL min<sup>-1</sup>, razão de aquecimento = 10 °C min<sup>-1</sup>, no intervalo de temperatura de 25 a 900 °C. Uma massa de aproximadamente 5 mg da amostra foi analisada em cadinho de platina. Os filmes foram caracterizados através de ensaios de tração conforme a norma (ASTM) D-882-02. Corpos de prova retangulares (com 25 mm de largura e 100 mm de comprimento) foram submetidos à máquina de ensaios da ramEMIC – DL - 2000, com célula de carga de 500N. A partir do ensaio foram determinados o módulo de Young (E), o limite de resistência à tração (LRT) e o alongamento até a ruptura ( $\epsilon$ ).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise termogravimétrica foi utilizada para monitorar a estabilidade térmica do fosfato e sua adição no polímero para a produção dos filmes PBAT/Fosfato. Para avaliar a influência do fosfato no comportamento térmico foi feito a análise das curvas TG e dTG das amostras. A Figura 1 mostra as curvas TG e dTG obtidas para o fosfato puro e os filmes elaborados. Dois eventos térmicos são observados: o primeiro correspondendo a perda de água, seguido da degradação da amônia à temperatura de 230 °C à 330 °C. Esse evento representou uma perda de massa de 19% no fosfato. O evento de decomposição de maior percentual do fosfato iniciou em 655 °C e manteve até a perda de massa 93,07% do fosfato até 900°C.



**Figura 1** – Curvas (a) TG e (b) dTG das amostras Fosfato, PBAT puro e PBAT/Fosfato.

A curva TG obtida para o PBAT apresentou uma única etapa de decomposição iniciando em 379 °C (Tonset). Este perfil é compatível com a curva obtida por Olivato et al., 2015 e Ibrahim et. al., 2011. Na membrana de PBAT/Fosfato também só foi observado um evento decomposição entre 380-508 °C característico do PBAT.

No filme de PBAT/Fosfato observou-se que o fosfato proporcionou uma maior rugosidade na superfície dos filmes, possivelmente pela formação de aglomerados devido ao percentual de fosfato adicionado. Através de medidas feitas com micrômetro foi possível observar que não houve diferença significativa nas espessuras entre os filmes de PBAT e PBAT/Fósforo indicando um processo de produção estável. Na Tabela 1 estão apresentados os resultados das propriedades mecânicas dos filmes.

**Tabela 1-** Valores de espessura, módulo de Young (E), limite de resistência à tração (LRT) e alongamento até a ruptura ( $\epsilon$ ) dos filmes de PBAT puro e PBAT/Fosfato.

Filmes	Espessura (mm)	E (MPa)	LRT (MPa)	E(%)
PBAT	0,363 ± 0,043 <sup>a</sup>	99,00 ± 20,21 <sup>a</sup>	740,00 ± 60,57 <sup>a</sup>	54,10 ± 8,25 <sup>a</sup>
F10%	0,473 ± 0,044 <sup>a</sup>	73,40 ± 15,01 <sup>a</sup>	307,00 ± 86,60 <sup>b</sup>	53,80 ± 6,07 <sup>a</sup>
F15%	0,522 ± 0,074 <sup>a</sup>	84,50 ± 6,38 <sup>a</sup>	321,40 ± 93,6b <sup>b</sup>	56,40 ± 3,87 <sup>a</sup>
F20%	0,476 ± 0,054 <sup>a</sup>	94,90 ± 17,24 <sup>a</sup>	355,00 ± 83,16 <sup>b</sup>	55,20 ± 8,27 <sup>a</sup>

Os valores com a mesma letra na mesma coluna indicam que não há diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ).

O módulo de Young (E) corresponde à razão entre a tensão de tração e a deformação correspondente, determinando a rigidez dos polímeros desenvolvidos. Por representar duas propriedades, tensão e deformação, é a medida mais utilizada e empregada para a seleção de materiais com propriedades mecânicas superiores<sup>9</sup>. A adição do fosfato ao PBAT ocasionou uma pequena redução na rigidez dos filmes não sendo significativa ( $p < 0,05$ ) no módulo de Young (E) (Tabela 1). Isso implica uma redução de 25% para a adição de 10% de fosfato, 14,6% com 15% de fosfato, 4,1% com 20% de fosfato, quando comparados os filmes de PBAT puro e PBAT/Fosfato. Alterações significativas foram observadas no limite de resistência à tração, com uma redução de 52,02% entre os filmes de PBAT/Fosfato em comparação ao filme de PBAT.

O alongamento à ruptura é uma medida da flexibilidade que é definida como a capacidade que o filme tem para deformar antes de romper<sup>10</sup>. No alongamento até a ruptura ( $\epsilon$ ) dos filmes PBAT/fosfato não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os filmes. As propriedades dos filmes podem ter sido conservadas por efeito dos tensoativos, que apresentam na parte hidrofílica um átomo ou grupo carregado positivamente. Neste caso a interação com as moléculas da água faz-se através desta carga positiva existente no tensoativo. Este grupo pode ser por exemplo um grupo amônio que contribui com uma carga positiva enquanto a carga for negativa pode ser constituída por um grupo carboxilato, favorecendo melhores propriedades mecânicas<sup>11</sup>.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível obter por extrusão utilizando temperatura até 135 °C de processamento, filmes degradáveis de PBAT/Fosfato com boa processabilidade. A análise termogravimétrica demonstrou que a adição do fosfato não provocou alterações na temperatura de degradação do polímero. A adição do fosfato nas maiores concentrações favoreceu melhores propriedades mecânicas aos filmes em relação a concentração de 10% de fosfato.

As membranas obtidas apresentaram resultados promissores, indicando que estes materiais podem ser possivelmente empregados em filmes plásticos para cobertura do solo e embalagens que podem ser usadas como alternativa para o plantio de mudas diretamente ao solo sem a retirada da embalagem.

#### 5. REFERÊNCIAS

1. M. YAMAMOTO; U. WITT; G. SKUPIN; D. BEIMBORN; R. J. MÜLLER. Biodegradable Aliphatic-Aromatic Polyesters:—Ecoflex®II. Biopolymers Online, 2005.
2. Mohanty, S., Nayak, S. K. International Journal of Plastics Technology, 2010, 14 (2), 192-212.
3. K.SI EGENTHALER; A. KÜNKEL; G. SKUPIN; M. YAMAMOTO; (2011) Ecoflex® and Ecovio®: biodegradable, performance-enabling plastics. In: Synthetic Biodegradable Polymers. Springer, Berlin, pp 91-136
4. <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melancia/SistemaProducaoMelancia/adubacao.htm>
5. J. SCHNEIDER; S. MANJURE; R. NARAYAN. J. Appl. Polym. Sci, 2016, 133, 43310.
6. ASTM D882-2002. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. ASTM International: West Conshohocken, PA.
7. J. B. OLIVATO; J. MARINI; E. POLLET; F. YAMASHITA; M. V. E. GROSSMANNA; L. AVÉROUS. Carbohydr. Polym, 2015, 118, 250-256.
8. N. A. IBRAHIM; N. M. RAHIM; W. Z. WAN YUNUS; J. SHARIF. Polym. Res. 201118, 891-896.
9. T. G. GALICIA GARCIA; F. MARTINEZ-BUSTOS; A. O. JIMENEZ-AREVALO; D. ARENCON; J. GAMES-PEREZ; A. B. MARTINEZ. J. Appl. Polym. Sci. 2012, 126, 326-335.
10. K. PIYADA; S. WARANYOU; W. THAWIEN. Int. Food Res. J. 2013, 20(1), 439-449.



Associação Brasileira de Polímeros  
Regional Nordeste

11. K. HOLMBERG. Surfactants and polymers in aqueous solutions. 2. ed. Göteborg, Sweden: John Wiley & Sons, 2002. p. 7-23.