

## Filmes híbridos de Polihidrixibutirato (P3HB) e Polivinil Butiral (PVB) reciclado para aplicações em Engenharia Biomédica

## Polyhydroxybutyrate (P3HB) and recycled Polyvinyl Butyral (PVB) hybrid films for Biomedical Engineering applications

### RESUMO

Mariana K. Bomfin  
[Kleinmariana97@gmail.com](mailto:Kleinmariana97@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Rafael A. Bini  
[rafaelbini@utfpr.edu.br](mailto:rafaelbini@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Ketlin C. Milani  
[ketlinc.milani@gmail.com](mailto:ketlinc.milani@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Raquel D. Bini  
[rd\\_bini@hotmail.com](mailto:rd_bini@hotmail.com)  
Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil

Eduardo A. Volnistem  
[e.volnistem@gmail.com](mailto:e.volnistem@gmail.com)  
Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil

Luiz F. Cótica  
[lfcotica@uem](mailto:lfcotica@uem)  
Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil

Kelen M. F. R de Aguiar  
[kelenaguilar@utfpr.edu.br](mailto:kelenaguilar@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Ricardo Schneider  
[rschneider@utfpr.edu.br](mailto:rschneider@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

O PVB é um material polimérico muito utilizado na fabricação de vidros laminados. Apesar da grande utilização esse material não é reutilizado, sendo descartado de maneira errônea. Este trabalho teve por objetivo preparar e caracterizar um filme de PVB reciclado, a partir de vidro laminado, com nanopartículas de P3HB carregadas com *Curcuma longa*, oferecendo uma alternativa para a reciclagem do material, visando aplicações na área de engenharia biomédica. Para isso, preparou-se os filmes por *casting* e eletrofiação de amostras (i) apenas com PVB e (ii) PVB mais nanoesferas de P3HB. Para os filmes realizaram-se análise de microscopia eletrônica de varredura e curvas analíticas de quantificação do agente ativo. Nos filmes formados por casting observou-se uma segregação das nanopartículas de P3HB. O processo de eletrofiação da amostra apenas com PVB produziu fibras bem definidas na faixa de 1 a 5  $\mu\text{m}$ , enquanto que para a amostra de PVB+P3HB, não se observou a presença de nanopartículas isoladas, apenas formação de fibras. Neste trabalho, uma plataforma híbrida contendo princípio ativo visando um produto voltado para cicatrização e regeneração da pele em mamíferos foi investigada, entretanto não se confirmou o potencial do material para uso em Engenharia Biomédica.

**PALAVRAS-CHAVE:** PVB reciclado. P3HB. Filmes híbridos. Engenharia Biomédica.

### ABSTRACT

PVB is a polymeric material widely used in the manufacture of laminated glass. Despite the great use of this material is not reused, being disposed of incorrectly. This work aimed to prepare and characterize a recycled PVB film from laminated glass with *Curcuma longa* charged P3HB nanoparticles, being an alternative for material recycling, using applications in the field of biomedical engineering. For this, the films were prepared by casting and electrospinning of samples (i) with PVB only and (ii) PVB plus P3HB nanospheres. For the films, scanning electron microscopy analysis and analytical curves of quantification os the

active agent were performed. In the *casting* films, a segregation of P3HB nanoparticles was observed. The electrospinning process of the PVB-only sample produced well-defined fibers in the range of 1 to 5  $\mu\text{m}$ , while for the PVB + P3HB sample, it does not see the presence of isolated nanoparticles, only fiber formation. In this work, a hybrid platform includes the active ingredient used in the investigated mammalian skin healing and regeneration product investigated, but the potential of the material for use in Biomedical Engineering is not verified.

**KEYWORDS:** recycled PVB. hybrid films. biomedical engineering.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais como membranas poliméricas representa um campo de interesse na engenharia biomédica para aplicações na engenharia de tecidos, curativos bioativos e dispositivos para liberação controlada de medicamentos. (SANTOS, 2014) Além disso, estes materiais podem ser incorporados com nanopartículas, proporcionando características específicas. (ZARPELON, 2013)

Os filmes poliméricos podem ser desenvolvidos através das técnicas de casting e eletrofiliação. O casting consiste na secagem de uma solução precursora em placa de vidro, onde ocorre a evaporação lenta do solvente e formação do filme. (ZARPELON, 2013) E a eletrofiliação prepara fibras poliméricas ultrafinas através de forças eletrostáticas. (COSTA, 2012)

O desenvolvimento de sistemas terapêuticos na escala nanométricas tem sido bastante estudado na nanotecnologia farmacêutica a fim de direcionar e controlar a liberação de fármacos. (PIMENTEL, 2007) Dentre esses sistemas estão as nanopartículas, que podem ser nanocápsulas ou nanoesferas, constituídas por polímeros biodegradáveis. Sendo que, as nanoesferas são consideradas de caráter matricial constituídas por uma rede polimérica e as nanocápsulas são um invólucro polimérico disposto ao redor de um núcleo oleoso. (SCHAFFAZICK, 2002)

Alguns polímeros biodegradáveis bastante utilizados para sistemas terapêuticos são o Poli(hidroxibutirato) (PHB) e o Poli( $\epsilon$ -caprolactona) (PCL). O PHB é produzido através da fermentação de bactérias e considerado um polímero termoplástico, biodegradável e resistente a água, enquanto, o PCL é um poliéster biodegradável muito utilizado na medicina. (NETO, 2012)

O polivinil butiral (PVB) é um material polimérico utilizado na fabricação de vidros laminados automotivos, aeroespaciais e arquitetônicos. Na fabricação do vidro laminado duas camadas de vidro são unidas por uma camada intermediária de polímero transparente. Quando o vidro se rompe, a camada de PVB mantém os fragmentos de vidro quebradas juntas, impedindo que o vidro estilhaçe. (ZHANG, 2015; DHALIWAL, 2002)

O PVB é um polímero altamente eficiente com propriedades como elasticidade, resistência, tenacidade, alta transmissão de luz e adesão a substâncias siliciosas. Por isso, estima-se uma produção mundial de 120 milhões de quilos por ano. (TUPY, 2014) Entretanto, apesar da alta produção e utilização

este material, não pode ser reutilizado, sendo normalmente descartado em aterros ou incinerados após a utilização. (TUPY, 2014)

Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho foi preparar e caracterizar um filme de PVB reciclado, a partir de vidro laminado, com nanopartículas de PHB carregadas com curcumina (*Curcuma longa*), oferecendo uma alternativa a reciclagem do material, visando aplicações na área de engenharia biomédica.

## MATERIAL E MÉTODOS

As partículas de PHB (PHB Industrial, Serrana-SP) foram preparadas pelo método de deslocamento do solvente (nanoprecipitação). Foram preparados quatro diferentes filmes de PVB através do método de casting, contendo nanoesferas de PHB.

Para obtenção dos filmes com as nanopartículas preparou as soluções de (1) curcumina; (2) curcumina/P3HB/diclorometano; (3) P3HB/diclorometano com solução de 10 mL de 10% PVB em etanol sob agitação constante. Os filmes preparados foram nomeados de A a D e o procedimento utilizado está descrito como segue:

**Filme A:** misturou-se 10 mL da solução de PVB com a solução 1 e transferiu-se a mistura para placa de petri pequena.

**Filme B:** a solução 2 foi gotejada na solução de 10% de PVB. Agitou-se a mistura por 1 hora e em seguida transferiu-a para a placa de petri.

**Filme C:** a solução 3 foi gotejada na solução de 10% de PVB. Agitou-se a mistura por 1 hora e em seguida transferiu-a para a placa de petri.

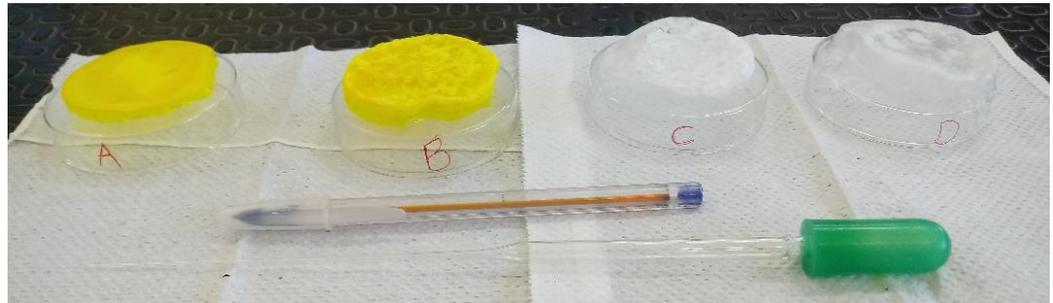
**Filme D:** a solução 3 foi gotejada em etanol, em seguida, adicionou-se uma solução de 10% de PVB. Agitou-se a mistura por 1 hora e em seguida transferiu-a para a placa de petri.

Posteriormente, realizou-se o teste de liberação da curcumina a partir do filme A através de um sistema com temperatura de 37°C, agitação constante e uma solução tampão de fosfato (PBS). Para isso, coletou-se alíquotas por 24 horas e realizou-se análise das amostras no espectrofotômetro. Além disso, analisou-se os filmes C e D por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Também foram realizados testes iniciais de eletrofiação a partir das soluções 1, 2 e 3.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra uma imagem digital dos filmes A, B, C e D preparados por casting. Filme A apenas PBV/curcumina, nos filmes B e C as partículas de P3HB foram precipitadas na presença do PVB, e no Filme D, primeiro ocorreu a precipitação das partículas de P3HB e em seguida, a adição da solução de PVB.

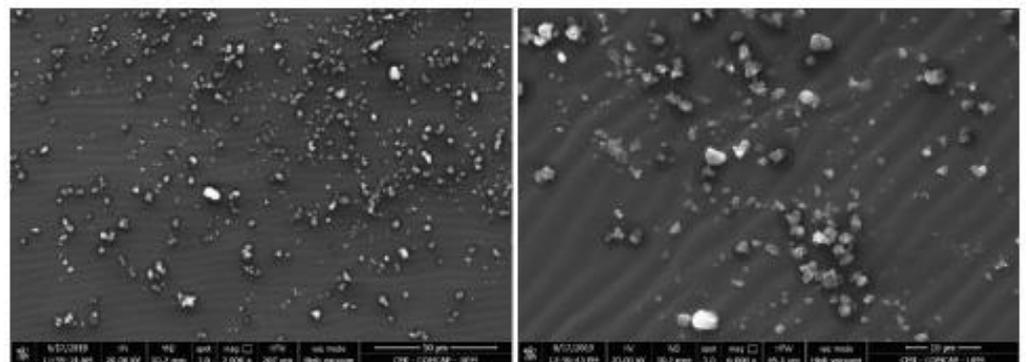
Figura 1 - Imagens digitais dos filmes PVB/P3HB/curcumina



Fonte: próprio autor

A figura 2 mostra as imagens de microscopia eletrônica de varredura da superfície dos Filmes C e D, respectivamente, ambos sem curcumina. Em ambos os filmes pode-se verificar a precipitação das nanopartículas de P3HB, contudo, a precipitação não foi homogênea, devido a uma alta carga de PVB.

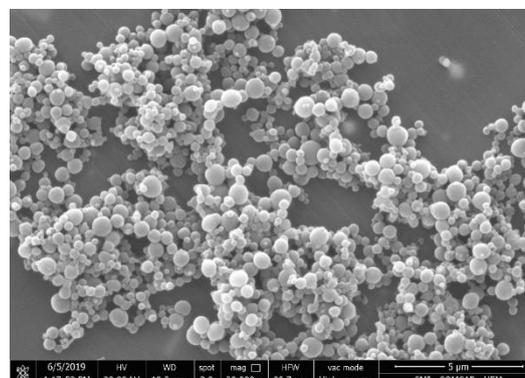
Figura 2 - Filme C (PVB/P3HB) e filme D (PVB/nanopartículas P3HB)



Fonte: próprio autor

A figura 3 apresenta a microscopia eletrônica de varredura das nanoesferas de P3HB. As nanoesferas estão bem definidas, no entanto, a distribuição homogênea do polímero durante o processo de nanoprecipitação interfere na morfologia e agregação das nanopartículas. (OLIVEIRA, 2014)

Figura 3 - Nanopartículas de P3HB.

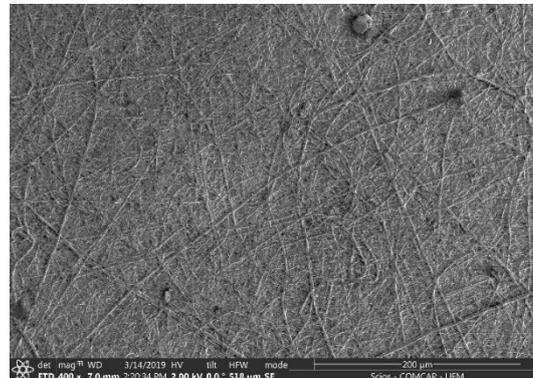


Fonte: próprio autor

Outro método avaliado para a formação dos filmes de PVB foi a eletrofição. A figura 4 apresenta somente o PVB eletrofiado, apresentando fibras bem

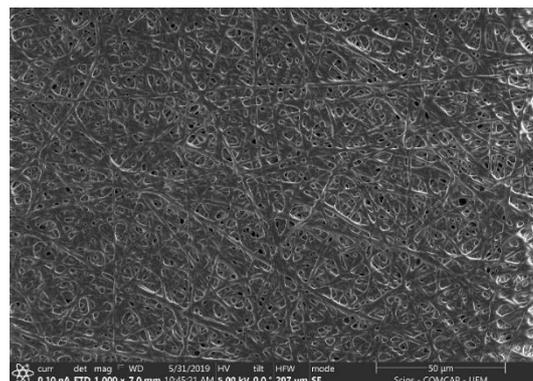
definidas na faixa de 1 a 5  $\mu\text{m}$ . A figura 5 demonstra a eletrofiiação do PVB com as nanoesferas de P3HB, observa-se que houve a formação de uma blenda, ou seja, não se obteve partículas isoladas.

Figura 4. 10% PVB eletrofiado



Fonte: autor próprio

Figura 5. 10% PVB + 100 mg de P3HB



Fonte: autor próprio

Para analisar se os filmes contendo curcumina podem liberar o ativo, inicialmente, avaliou-se por 24h o filme A, apenas com PVB/curcumina, em meio tampão de PBS, analisando a cinética de liberação. Entretanto, no período de 24h não foi verificada a presença de curcumina na solução PBS, a qual deve-se ao fato do meio não causar erosão do polímero, uma vez que a água não é solvente para o PVB. Os demais filmes serão testados perante suas propriedades de liberação.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho preparou-se filmes de PVB reciclável a partir de vidro laminado e adicionou-se nanopartículas de PHB carregadas (ou não) com curcumina (*curcuma longa*), com a intenção de oferecer uma alternativa a reciclagem do material, visando uma aplicação de curativo. Contudo, o filme testado não apresentou cinética de liberação. Porém, como uma perspectiva futura, os filmes serão testados frente a microrganismos para avaliar se mesmo sem liberar o ativo, a superfície possa apresentar propriedades antimicrobianas.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a UTFPR por ceder o espaço de pesquisa aos alunos, contribuindo para a nossa formação, a Universidade Estadual de Londrina pelas análises realizadas e também ao orientador Rafael Bini por compartilhar seus conhecimentos.

## REFERÊNCIA

- [1] SANTOS, L.G. Obtenção de nanofibras eletrofiadas de poli (L - ácido láctico) – PLLA incorporadas com *Sedum dendroideum* no reparo de lesões cutâneas. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- [2] ZARPELON, F. Preparação, Caracterização e Aplicação de Filmes Finos de PAH/PAA com Nanopartículas de Prata no Tratamento Microbiológico de Efluentes Industriais para Reuso. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul.
- [3] COSTA, R. G. F. et al. Eletrofiação de polímeros em solução. Parte 1: fundamentação teórica. *Polímeros*, São Paulo, v.22, n.2, p. 170-177, 2012.
- [4] PIMENTEL, L.F. et al. Nanotecnologia farmacêutica aplicada ao tratamento da malária. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 43, n.4, 2007.
- [5] SCHAFFAZICK, S. R. et al. Caracterização e estudo de estabilidade de suspensões de nanocápsulas e de nanoesferas poliméricas contendo Diclofenaco. *Acta Farmacêutica Bonaerense*, v. 21, n.2, 2002.
- [6] NETO, T.A. Estudo de compósitos poliméricos biodegradáveis de Polihidroxi-butirato (PHB), Poli  $\epsilon$ -caprolactona (PCL) e pó de madeira. 2011. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI SIMATEC, Salvador.
- [7] ZHANG, X; HAO, Y; CUI, J. The mechanical properties of Polyvinyl Butyral (PVB) at high strain rates. *Construction and Building Materials*, v.93, p. 404-415, 2015.
- [8] DHALIWAL, A.K; HAY, J.N. The characterization of Polyvinyl Butyral by termal analysis. *Thermochimica acta*, v. 391, p. 245-255, 2002.
- [9] TUPY, M; PETRÁNEK, V. Use of recycled as a protection against carbonation. *International Scholarly and Scientific Research e Innovation*, v.8, n.6, p. 541-544, 2014.
- [10] OLIVEIRA, A.M. Produção de nanopartículas poliméricas com tamanho controlado com potencial aplicação na liberação controlada de agentes tumorais. 2014. Dissertação (Mestrado em Biotecnociência) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnociência, Universidade Federal do ABC, São Paulo.