

## CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS DE BLENDA DE PBAT/PNIPAAm ELETROFIADAS POR MEIO DE MEDIDAS DE MOLHABILIDADE: EFEITO DA TEMPERATURA

### RESUMO

**Priscila Schroeder Curti**  
[priscilacurti@utfpr.edu.br](mailto:priscilacurti@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil.

**Liege Aguiar Pascoalino**  
[liegeaguiar@gmail.com](mailto:liegeaguiar@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil.

**OBJETIVO:** Avaliar o efeito da termossensibilidade do PNIPAAm nas blendas de PBAT/PNIPAAm usando a técnica de medida de ângulo de contato estático em função da temperatura. **MÉTODOS:** Fibras de blendas de PBAT/PNIPAAm foram obtidas a partir de soluções desses polímeros em diferentes proporções mássicas (m/m) utilizando a técnica de eletrofiação. Foram realizadas medidas de ângulo de contato estático formado entre a gota de água e a superfície das mantas fibrílicas com diferentes porcentagens de PNIPAAm, na faixa de temperatura entre 20 °C e 45 °C. **RESULTADOS:** Observou-se que o ângulo de contato das fibras de PBAT puro eletrofiadas apresentou valores acima de 100°, devido à sua característica hidrofóbica, que não sofreu influência da temperatura, na faixa estudada. O PNIPAAm puro eletrofiado apresentou significativa mudança nos valores de ângulo de contato em função da temperatura, que variaram em torno de 40° a 20°C até valores acima de 100° na temperatura de 45°C. Esse resultado demonstra o caráter hidrofílico-hidrofóbico do PNIPAAm, cuja mudança ocorreu em 32°C. As blendas de fibras de PBAT/PNIPAAm apresentaram comportamento de molhabilidade semelhante ao PNIPAAm puro, principalmente a partir da proporção mássica 80/20. Assim, foi verificado que a presença de porcentagens de PNIPAAm a partir de 20% tornou a manta fibrílica sensível à variação da temperatura, devido à observação da transição hidrofílica-hidrofóbica do PNIPAAm na temperatura em torno de 32°C.

**PALAVRAS-CHAVE:** PBAT. PNIPAAm. Blendas. Eletrofiação. Fibras.

## 1. INTRODUÇÃO

Muitos estudos são realizados a fim de obter diferentes tipos de blendas poliméricas com propriedades diferenciadas, em comparação às propriedades dos polímeros puros que lhe deram origem [1] e sem a necessidade de sintetizar novos polímeros, sendo esse um processo de maior custo. A eletrofiação é uma técnica de processamento de simples execução, versátil e de baixo custo, na qual se obtém malhas de fibras em escala micro e nanométrica [2,3], e por isso tem sido cada vez mais estudada e aplicada nos mais diversos campos de pesquisas, produzindo micro e/ou nanofibras que podem ser amplamente empregadas como substrato na engenharia de tecido, cicatrização de ferimentos, sistemas de filtração, liberação controlada de fármacos, dentre outras [4].

O poli (butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) é um polímero sintético e biodegradável por compostagem [5] produzido pela BASF, com características semelhantes ao polietileno de baixa densidade (PE) [6]. Assim, o PBAT torna-se um polímero interessante para ser usado em substituição ao PE, podendo causar um menor impacto ambiental quando descartado no meio ambiente. O poli (N-isopropilacrilamida) (PNIPAAm) é um polímero que se destaca por suas aplicações como biomaterial, devido às suas propriedades termorresponsiva e de biocompatibilidade. Em solução aquosa, o PNIPAAm apresenta uma transição de fases do tipo *Lower Critical Solution Temperature (LCST)*, em torno de 32 °C [2,7].

Estudos sobre a eletrofiação das blendas de PBAT/PNIPAAm utilizando a técnica de eletrofiação, realizados anteriormente [8], mostraram que a morfologia das fibras de PBAT eletrofiadas apresentaram significativa melhora após a adição de PNIPAAm, formando blendas (PBAT/PNIPAAm), pois passaram a apresentar morfologia arredondada e sem defeitos, quando comparadas às fibras de PBAT puro. Esse resultado indicou que a presença de porcentagens de PNIPAAm aumentou a eletrofiabilidade das soluções das blendas poliméricas durante o processamento. Assim, o objetivo desse presente trabalho foi realizar um estudo acerca das propriedades de molhabilidade das blendas de PBAT/PNIPAAm, eletrofiadas em diferentes proporções, a fim de verificar se a presença de diferentes porcentagem de PBAT interfere no comportamento de termossensibilidade do PNIPAAm.

## 2. MÉTODO EXPERIMENTAL

### 2.1 MATERIAIS

Foram usadas fibras de blendas poliméricas PBAT/PNIPAAm previamente eletrofiadas nas proporções mássicas (m/m) de PBAT/PNIPAAm de: 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 50/50, 0/100 (condições usadas nas eletrofiações: tensão de 25 kV, fluxo da solução de 1,3 mL/h e distância de trabalho de 15 cm). Banho ultra termostático (*Solab, SL-152/i*). Multímetro digital com peltier (*Hikari, HM-2030*). Micropipeta (*Kasvi basic, K1-50B*). Microscópio óptico digital (*U500X*). Placa aquecedora de alumínio. Suporte universal e garras.

#### 2.1.1 Métodos

Para realizar as medidas de ângulo de contato, a manta fibrilica de uma das blendas eletrofiadas, citadas no item 2.1, foi colocada sobre uma placa de alumínio ligada a um banho ultra termostático para o ajuste de temperatura. Um

multímetro, com um termostato tipo peltier, foi ligado diretamente à placa de alumínio para obter o valor real da temperatura sobre a placa. Após esse ajuste e controle da temperatura, foi usada uma micropipeta para obter gotas de 5 $\mu$ L de água milli-q, que foi depositada sobre a manta fibrilica, sendo a sua imagem captada por um microscópio óptico digital conectado a um computador. Esses experimentos foram repetidos nas temperaturas de 20 a 45 °C, em intervalos de 5 °C, sendo realizadas seis medições em cada temperatura.

Posteriormente, determinou-se o tempo de 10 segundos de contato entre a gota de água e a superfície da fibra, a fim de obter a imagem para realizar a determinação do ângulo de contato que a gota de água formava sobre a superfície da fibra polimérica. Para o cálculo do ângulo foi utilizado o software *ImageJ*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

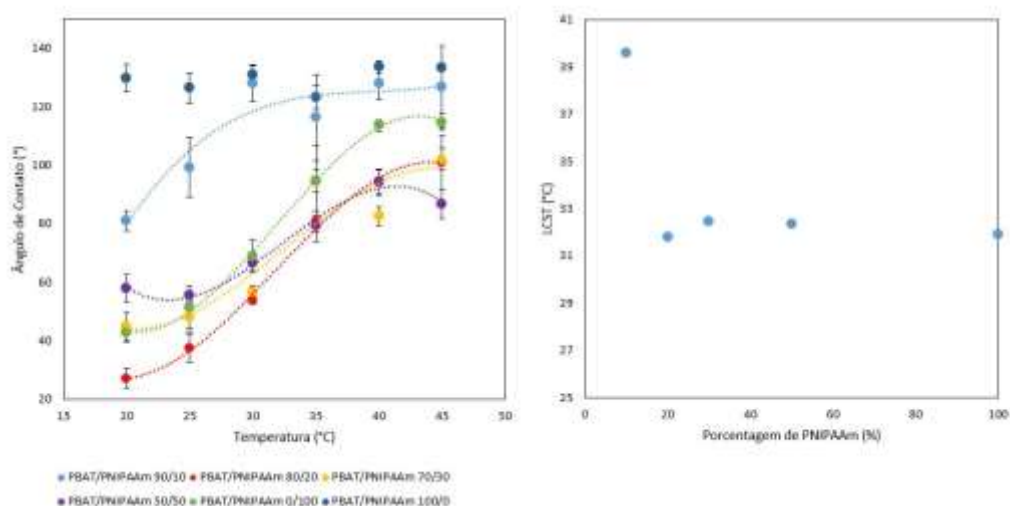
De acordo com a literatura, a molhabilidade de uma superfície sólida pode ser determinada por meio do ângulo de contato no qual a gota do líquido forma ao entrar em contato com a superfície sólida. Esse ângulo de contato, e por consequência o fenômeno de molhabilidade, depende da relação existente entre as forças adesivas do sistema sólido-líquido e das forças coesivas do líquido [9].

Na Fig. 1 são apresentados os resultados de ângulo de contato em função da temperatura para as blendas de PBAT/PNIPAAm, eletrofiadas em diferentes proporções mássicas (Fig. 1A) e a variação da *LCST* da blenda eletrofiada em função da porcentagem de PNIPAAm presente na mesma (Fig. 1B). A partir dos resultados da Fig. 1A, foi observado que os valores de ângulo de contato da malha fibrilica do PBAT puro resultaram em valores acima de 100°, além de não haver variação com a temperatura, indicando uma característica hidrofóbica desse polímero, devido à sua baixa molhabilidade. Na medida em que o PNIPAAm foi misturado ao PBAT, as mantas fibrilicas das blendas eletrofiadas apresentaram uma maior variação dos valores de ângulo de contato em função da temperatura. Em temperaturas abaixo da *LCST* do PNIPAAm, as fibras das blendas de PBAT/PNIPAAm apresentaram maior molhabilidade, indicando que nessa faixa de temperatura essas mantas fibrilicas apresentaram maior hidrofilicidade. Para as medidas realizadas entre 30 e 40 °C houve uma variação significativa dos valores de ângulo de contato das blendas, devido à presença de PNIPAAm nas mesmas, passando de valores relativamente abaixo de 90° (maior hidrofilicidade) para valores muito próximos ou acima de 90° (maior hidrofobicidade). Tais resultados indicam que houve uma mudança conformacional das cadeias poliméricas do PNIPAAm presente na superfície das fibras das blendas eletrofiadas, induzida pela variação da temperatura do substrato, mostrando que a presença de PNIPAAm nas blendas eletrofiadas as tornaram termossensíveis.

A fim de verificar se a termossensibilidade observada para as blendas de PBAT/PNIPAAm poderia depender da porcentagem de PNIPAAm presente na blenda, para cada curva de tendência dos dados experimentais apresentados na Fig. 1A, foi determinada uma equação de terceiro grau (dado não apresentado) para obter a derivada segunda da equação, a fim de estimar se o valor da *LCST* do PNIPAAm sofreria alguma alteração em função de sua porcentagem em cada blenda eletrofiada. Foi observado (Fig. 1B) que para a porcentagem de 10% de PNIPAAm na blenda eletrofiada, o valor de sua *LCST* foi diferente daquela encontrada na literatura, entre 32-35 °C [10]. Para porcentagens de PNIPAAm a

partir de 20%, o valor da *LCST* das fibras eletrofiadas ficou na faixa da *LCST* do PNIPAAm puro, indicando que não seria necessário adicionar porcentagens maiores desse polímero na blenda para obter a transição hidrofílica-hidrofóbica com a eficiência desejada.

Figura 1 – (a) Ângulo de contato em função da temperatura para as blends de PBAT/PNIPAAm eletrofiadas; (b) Variação da *LCST* em função da porcentagem de PNIPAAm presente nas fibras eletrofiadas.



Fonte: Autoria própria (2017)

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises realizadas nesse trabalho, foi verificada uma resposta das malhas fibrílicas de blends de PBAT/PNIPAAm eletrofiadas à variação da temperatura, devido à ocorrência da transição hidrofílica-hidrofóbica na superfície da malha fibrílica, característica do PNIPAAm. Além disso, também foi possível observar que a partir da porcentagem de 20 % de PNIPAAm nas blends das fibras eletrofiadas, a temperatura da *LCST* ocorreu em torno de 32 °C, que está de acordo com valores encontrados na literatura. Tais dados mostram resultados muito interessantes acerca da termossensibilidade alcançada para as fibras de blends de PBAT/PNIPAAm eletrofiadas.

## Electrospun PBAT/PNIPAAm mats characterized by wettability measurements: Temperature effect

### ABSTRACT

**OBJECTIVE:** To evaluate the effect of PNIPAAm thermosensitivity on PBAT/PNIPAAm blends using the technique of static contact angle measurement as a function of temperature. **METHODS:** Electrospun PBAT/PNIPAAm blends fibers were prepared in different proportions (w/w) the polymers solutions. Static contact angle measurements were made between the water droplet and the surface of the fibers with different percentages of PNIPAAm, in the temperature range between 20°C and 45°C. **RESULTS:** It was observed that the contact angle values of the electrospun PBAT fibers had a contact angle value around 130°, due to their hydrophobic characteristic, which was not affected by temperature. The electrospun PNIPAAm fibers presented a contact angle changing as a function of temperature, around 40° to 20°C to values and contact angle values above 100° at temperatures of 45°C. This result demonstrates the hydrophilic-hydrophobic character of PNIPAAm, whose changing occurs at 32°C. The PBAT/PNIPAAm fiber showed similar behavior of the pure PNIPAAm, mainly from the 80/20 mass ratio. Thus, it was verified that the presence of percentages of PNIPAAm from 20% made the fiber sensitive to temperature variation, due to the hydrophilic-hydrophobic transition of PNIPAAm at a temperature around 32°C.

**KEYWORDS:** PBAT. PNIPAAm. Blends. Electrospinning. Fibers.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Araucária FA – Paraná / Brasil. Os autores também agradecem o apoio financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq – Brasil - projeto CNPq Universal – Processo 443480/2014-1.

## REFERÊNCIAS

- 1- M. A. De Paoli; **Degradação e estabilização de polímeros**, J. C. De Andrade, Ed.; Chemkeys, 2008, Vol. 2, 109-123.
- 2- M. C. Costa; S. V. Oliveira; E. M. Araújo. **Propriedades mecânicas e térmicas de sistemas de PLA e PBAT/PLA**. 2014, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Vol. 9, n. 2
- 3- L. R. Souza; **Eletrofiação de blendas de PNIPAAm com polímeros biodegradáveis**. 2015, Londrina.
- 4- N. Bhardwaj; S. C. Kundu. **Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique**. Biotechnology Advances, 2010, Vol. 28, 325-347.
- 5- R. P. Brandelero; F. Yamashita; M. V. E. Grossmann. **The effect of surfactant Tween 80 on the hydrophilicity, water vapor permeation, and the mechanical properties of cassava starch and poly (butylene adipate-co-terephthalate)(PBAT) blend films**. Carbohydrate Polymers, 2010, Vol. 82, n.4, 1102-1109.
- 6- B. E. P. N. Da Gama. **Preparação e caracterização do polímero biodegradável PBAT, associado aos polímeros semicondutores poli-o-etoxianilina e poli-ometoxianilina e ao óxido de estanho e índio**. 2014, Ouro Preto.
- 7- L. Liu; H. Sheardown. **Glucose permeable poly (dimethyl siloxane) poly (Nisopropyl acrylamide) interpenetrating networks as ophthalmic biomaterials**. Biomaterials, 2005, Vol. 26.
- 8- B. A. T. T. Da Silva, R. L. De Souza, E. Corradini, E. C. Muniz e P. S. Curti in **Anais do 13º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Natal, 2015.
- 9- J. D. Shaw. **Introdução à química dos colóides e de superfícies**. Editora Edgard Blucher, 1975
- 10- H. G. Schild. **Poly(N-isopropylacrylamide): experiment, theory and application**. 1992, Vol 17.

**Recebido:** 31 ago. 2017.

**Aprovado:** 02 out. 2017.

**Como citar:**

PASCOALINO, A. Liege, CURTI, S. Priscila. Caracterização de fibras de blendas de PBAT/PNIPAAm eletrofiadas por meio de medidas de molhabilidade: efeito da temperatura. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22.10. 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Liege Aguiar Pascoalino  
Estrada dos Pioneiros 3131, Londrina, Paraná, Brasil.

**Direito autoral:**

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

