

Avaliação da Morfologia das Nanofibras de PAN Obtidas por Eletrofiação sob Diferentes Regimes de Tensão Aplicada

Luiz F. P. Gonçalves, Ariandy Botezini, William R. S. Santos & Erika P. Gonçalves

A produção de nanofibras poliméricas vem ganhando destaque na pesquisa e desenvolvimento nas últimas décadas, muitos são os fatores que influenciam a qualidade das fibras produzidas, dentre eles, destaca-se a tensão aplicada no processo. O presente estudo avalia a influência da variação na tensão elétrica aplicada (12,5 kV, 15 kV, 25 kV) na produção de nanofibras de Poliacrilonitrila-co-Acetato Vinila (PV) por eletrofiação. Observou-se que aumentos na tensão aplicada acarretam a redução do diâmetro médio das fibras de PV. É importante realizar mais estudos para analisar a influência em diferentes polímeros fomentando avanços na produção de nanofibras com características e propriedades especiais para os mais diversos setores industriais.

Palavras-chave: *eletrofiação; diferença de potencial; nanofibras; poliacrilonitrila.*

The production of polymeric nanofibers has been gaining prominence in research and development in recent decades, many are the factors that influence the quality of the fibers produced, among them, the stress applied in the process stands out. The present study evaluates the influence of the variation in the applied electrical voltage (12.5 kV, 15 kV, 25 kV) in the production of polyacrylonitrile-co-vinyl acetate (PV) nanofibers by electrospinning. It was observed that increases in the applied tension lead to a reduction in the average diameter of the PV fibers. It is important to carry out more studies to analyze the influence on different polymers fostering advances in the production of nanofibers with special characteristics and properties for the most diverse industrial sectors.

Keywords: *electrospinning; potential difference; nanofibers; polyacrylonitrile.*

Introdução

Eletrofiação é uma técnica baseada em conceitos conhecidos a mais de 100 anos, onde fibras sintéticas são produzidas ao aplicar-se forças eletrostáticas. O processo utiliza uma fonte de alta tensão para aplicar carga de uma certa polaridade numa solução de polimérica, que é acelerada em direção a um aparato coletor de polaridade oposta. Como a atração eletrostática entre o líquido e o coletor e as repulsões eletrostáticas entre cargas semelhantes no líquido tornam-se mais fortes, a superfície da solução muda de um menisco arredondado para um cone (o cone de *Taylor*). Como resultado um jato de fibra é formado quando a força do campo elétrico formado exceda a tensão superficial do líquido. O jato de fibra viaja através da atmosfera permitindo que o solvente evapore, levando assim à deposição de fibras poliméricas sólidas no aparato coletor. Estas fibras podem possuir diâmetros médios da ordem de alguns micrômetros até as dezenas de nanômetros.

Algumas variáveis podem influenciar as características das fibras, como por exemplo, a concentração da solução polimérica, a taxa de injeção, a tensão aplicada e a distância entre o injetor e o aparato coletor. Vários estudos foram conduzidos para analisar o efeito da tensão elétrica aplicada na eletrofiação de vários polímeros. Por exemplo, *Maity* e seus colaboradores¹ investigaram os efeitos na produção de fibras Poliácridonitrila-co Acetato de Vinila (PV) para aplicações biomédicas. *Yildirim* e *Duyar*² analisaram o efeito da intensidade do campo elétrico na eletrofiação de fibras PV. *Kim*³ fornece uma análise do efeito da tensão na eletrofiação de fibras poliméricas e como isso afeta o diâmetro da fibra.⁴

Os resultados de *Maity*¹ mostraram que no aumento da tensão da eletrofiação resultou em fibras de PV com diâmetro maior, afetando ainda mais as propriedades mecânicas e a biocompatibilidade das fibras. Um estudo de *Yildirim* e *Duyar*² mostrou que a força do campo tem um efeito significativo na formação e no diâmetro das nanofibras de PV, com maior resistência resultando em fibras mais finas. Segundo *Kim*³, a tensão de eletrofiação tem um efeito significativo no diâmetro da fibra

polimérica, indicando que o aumento da tensão resulta em fibras mais finas. Enquanto isso, *Yalcin* e colaboradores⁴ mostraram que tanto a tensão quanto a concentração de polímero afetam o diâmetro da fibra PV, com o aumento da tensão tornando a fibra mais fina e o aumento da concentração de polímero na solução tornando a fibra mais espessas. Finalmente, *Gao* e colaboradores⁵ mostraram que a tensão da eletrofiação afeta a estrutura e as propriedades das nanofibras de PV, e que no aumento da tensão resultou em fibras com estrutura mais densa e diâmetro menor. Segundo *Siew*⁶ foi constatado que quanto maior a tensão aplicada, maior é o diâmetro das fibras eletrofiadas, devido ao aumento na quantidade de polímero ejetado. Foi reportado por *Bhardwaj* e *Kundu*⁷ que o aumento da tensão aplicada diminuiu o diâmetro das fibras, pois favoreceu o aumento da repulsão eletrostática. De modo geral, pode ser observado que o aumento da tensão elétrica aplicada favorece um maior estiramento da solução polimérica, reduzindo por consequência o diâmetro das suas fibras. Ademais, variações na tensão aplicada podem afetar a resistência mecânica, a condutividade térmica e a capacidade de isolamento das fibras, podendo consequentemente ser útil em determinadas aplicações na indústria.

O presente estudo avaliou a influência da variação da tensão aplicada no processo de eletrofiação na morfologia das nanofibras de PAN-co- Acetato de Vinila.

Materiais e Métodos

Preparou-se a solução de 10% Poliácridonitrila-co- Acetato de Vinila (PV) da marca Quimlab em N, N- dimetilformamida (DMF) da marca Neon. A homogeneização da solução foi realizada sob agitação magnética sob 80 °C por 60 minutos. A solução foi mantida em banho ultrassônico por 60 minutos, em seguida armazenada à 2,5 °C.

Para a produção das nanofibras foi realizada partir de alíquotas da mesma solução mãe, e utilizou-se o taxa de injeção de 1 mL/h. A temperatura e a umidade foram controladas e mantidas constantes em todo o processo. As nanofibras foram formadas a partir da aplicação

de tensões elétricas de 12,5 kV; 15 kV e 25 kV e coletadas em um anteparo condutor a uma distância de 10 cm da ponta de injeção.

As fibras nanométricas produzidas formam um tecido-não-tecido que foi analisado por microscopia eletrônica de varredura (MEV) em um microscópio da marca Zeiss e modelo EVO MA10. A Figura 1 mostra esquematicamente as etapas do desenvolvimento do trabalho.

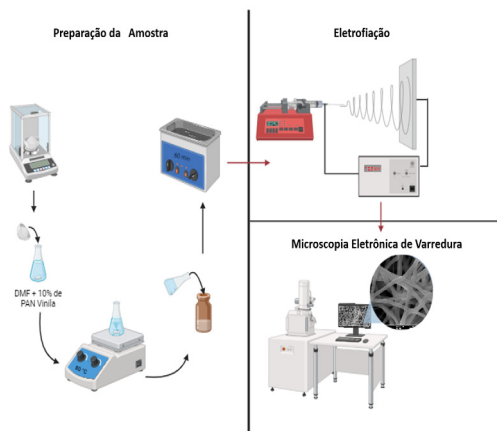


Figura 1. Desenho esquemático do processo de fabricação da nanofibras

Resultados e Discussão

Nas micrografias das fibras observa-se que a morfologia das fibras, a densidade de deposição é homogênea e não se observou a formações de pérolas. As pérolas são formadas durante o processo de síntese das nanofibras de poliacrilonitrila, quando ocorre a desestabilização da solução polimérica, resultando na formação de pequenas esferas.⁸

Resultados divergentes quanto ao diâmetro das fibras eletrofiadas são encontrados na literatura, a maioria dos autores descreve a redução do diâmetro da fibra com o aumento da tensão aplicada no processo de eletrofiação^{2-5,7}, enquanto outros^{1,6} corroboram ao encontrado neste estudo. Onde constatou-se uma relação diretamente proporcional entre o diâmetro das fibras e a tensão elétrica

aplicada conforme observado nas fotomicrografias apresentadas na Figura 2, que mostram as nanofibras obtidas homogêneas e íntegras.

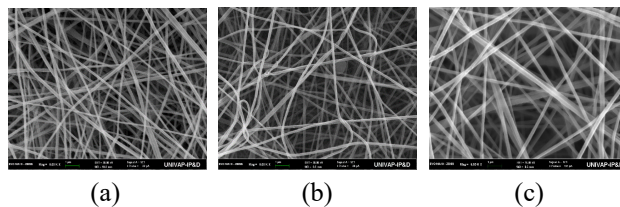


Figura 2. Fotomicrografia obtida das nanofibras de Poliacrilonitrila-Co-Acetato Vinila obtidas a partir da variação de tensão elétrica (a) 12,5 kV (b) 15 kV (c) 25 kV

A Figura 2(a), mostra a morfologia das nanofibras obtidas com a aplicação de 12,5kV onde é possível observar as fibras mais finas quando comparadas com as demais; já na Figura 2(b) onde foi aplicado 15 kV é possível visualizar fibras um pouco mais espessas e por fim, quando se observa-se a Figura 2(c) onde aplicou-se 25 kV no processo de eletrofiação, foi a que demonstrou nanofibras mais grossas dentre todas as tensões analisadas. Esse comportamento diretamente proporcional encontrado neste estudo pode ser atribuído a maior quantidade de polímero ejetado durante o processo de eletrofiação,¹ devido às diferentes taxas de injeção aplicadas quando comparados aos autores divergentes.^{2-5,7} Ademais, a composição do copolímero estudado influencia nas forças eletrostáticas da solução polimérica, uma vez que a adição de acetato de polivinila na composição do copolímero introduz na poliacrilonitrila radicais acetato, que por possuírem átomos de oxigênio em sua estrutura acarretam uma polarização nas moléculas poliméricas, o que influencia na tensão superficial da solução e conseqüentemente na formação do campo eletromagnético e por fim na formação do cone de Taylor. Como é a partir do cone de Taylor que são formadas as nanofibras, essa variação na estrutura do cone acarretará a alteração da estrutura das nanofibras obtidas.

Conclusão

A variação da tensão afeta diretamente o diâmetro das fibras produzidas, assim a tensão aplicada na produção de fibras deve ser adequada para cada aplicação. Porém acredita-se que outros fatores também influenciam o diâmetro das fibras eletrofiadas, como a taxa de injeção e a composição da solução polimérica. Deste modo, mais estudos devem ser conduzidos para a elucidação dos efeitos da taxa de injeção e da composição da solução polimérica. No presente trabalho observou-se uma relação diretamente proporcional entre a tensão aplicada e o diâmetro das nanofibras poliméricas. Podendo se concluir que o que afeta essas fibras são os campos magnéticos causados pela alta tensão e como se tem uma PAN-co- Acetato de Vinila com 6% de vinila, e levando em conta que a ela tem uma característica de ser uma substância apolar fazendo com que a atuação do campo magnético sofrido pela substância tenha sido menor do que os demais experimentos que divergiram do resultado acima. Portanto, é necessário avaliar cuidadosamente as variáveis envolvidas na escolha da tensão para garantir a qualidade das fibras e a eficiência energética do processo para a aplicação fim.

Referências

1. MAITY, P. P., MANDAL, B. B., & CHATTERJEE, K. (2021). Impact of Voltage on Electrospinning of Poly (Vinyl Alcohol) for Biomedical Applications. In *Electrospinning: A Versatile Route to Nanofibers* Springer.
2. YILDIRIM, E., & DUYAR, M. S. (2020). A Study on the Effects of Electric Field Strength on the Formation of Electrospun Polyvinyl Alcohol (PVA) Fibers.
3. KIM, G. M., YEO, S. Y., & JEONG, Y. H. (2018). Effects of voltage on electrospinning of polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofibers for the fabrication of an electrospun PVDF membrane.
4. YALCIN, B., KESKIN, S., & UGUZ, I. (2017). Effect of voltage and polymer concentration on electrospun poly (vinylidene fluoride) fiber diameter and air filtration properties.
5. ZHAO, Y. (2016). Effect of voltage on electrospinning of poly (lactic acid) nanofibers: Investigation on fiber diameter, distribution, and properties. *Materials Science and Engineering*.
6. SIEW MEI TAN A , XIN YI TEOH A,1 , JIA LE HWANG A , ZHAO PENG KHONG A , RANA SEJARE A ,

ABDULSALAM Q. ALMASHHADANI A , REEM ABOU ASSI A,B,**, SIOK YEE CHAN a., Electrospinning and its potential in fabricating pharmaceutical dosage form. *Journal of Drug Delivery Science and Technology* (2022) DOI: doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103761

7. NANDANA BHARDWAJ 1, SUBHAS C KUNDU. Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique *National Library of Medicine* (2010). Doi: 10.1016/j.biotechadv.2010.01.004
8. CHEN, Y., YANG, L., & LIU, Y. (2021). Controlling the formation of beads in PAN fibers through electrospinning.
9. HASAN, S. S. H., BAKAR, S. A., AZHAR, A. A., AHMAD, Z. A., YUSOF, N., & YUSOF, N. A. (2021).

Luiz F. P. Gonçalves, Ariandy Botezini, William R. S. Santos & Erika P. Gonçalves*

Laboratório de Tecnologia em Híbridos e Compósitos, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos. Av. Shishima Hifumi, nº2911, CEP 12244-000, Brasil.

*E-mail: erika@univap.br