



TÓPICOS EM MATERIAIS POLIMÉRICOS

Genilza da Silva Mello
George Barbosa da Silva
Guilherme Augusto Ferreira
Letícia Vitorazi
Thaís Dolzany de Oliveira
(Organização)

© Genilza da Silva Mello, George Barbosa da Silva,
Guilherme Augusto Ferreira, Letícia Vitorazi, Thaís Dolzany de Oliveira

TÓPICOS EM MATERIAIS POLIMÉRICOS

Coordenação da Seção de Produção Editorial
Rachel Cristina Pavim

Revisão
Larissa Brito dos Santos
Maria Diovana Rolim Soares

Projeto gráfico, capa e diagramação
Lara Leder

Revisão final
Autores

Série Pesquisa, n. 442

Universidade Federal do Paraná. Sistema de Bibliotecas.
Biblioteca Central. Seção da Representação da Informação.

T674 Tópicos em materiais poliméricos / Genilza da Silva Mello... [et al.],
 organização. — Curitiba, PR : Ed. UFPR, 2024.
 218 p. : il. color. ; 21 cm. — (Série pesquisa, n. 442).

Inclui referências.

ISBN 978-85-8480-240-1.

1. Polímeros. 2. Biopolímeros. 3. Compostos poliméricos. I. Mello, Genilza
da Silva, 1988- . II. Título. III. Série.

CDD: 668.9

CDU: 577.12

Bibliotecário: Arthur Leitis Junior – CRB 9/154

ISBN 978-85-8480-240-1

Ref. 1121

**Direitos desta edição reservados à
Editora UFPR**

Rua Ubaldino do Amaral, 321
80060-195 — Curitiba — Paraná — Brasil
editora@ufpr.br
www.editora.ufpr.br

2024


**Associação Brasileira
das Editoras Universitárias**

Nanofibras poliméricas com a técnica de fiação por sopro em solução

Mariana Bianchini Silva¹

Amanda Rinaldi Sorigotti²

Letícia Vitorazi^{3}*

Rafaella Takehara Paschoalin^{4}*

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia compreende uma área da ciência que tem apresentado uma ampla expansão nas últimas décadas, causando intenso progresso em setores envolvendo, sobretudo, o desenvolvimento de materiais para dispositivos eletrônicos e até mesmo para aplicações médicas (Mnyusiwalla; Daar; Singer, 2003; Paschoalin et al., 2017). Esta área envolve a obtenção, manipulação e caracterização de estruturas funcionais que apresentem pelo menos uma de suas dimensões na escala nanométrica, ou seja, entre 1 e 100 nm (Zhang et al., 2005; Assis et al., 2012; Vaz; Vieira Costa; De Moraes, 2017). Com a redução das dimensões para esta escala, observa-se um aprimoramento das propriedades físicas e químicas dos materiais, que não são visualizadas na macroescala (Assis et al., 2012; Vaz; Vieira Costa; De Moraes, 2017).

Entre as morfologias de maior interesse científico e tecnológico, as nanofibras estão entre as mais estudadas dado o grande número de possibilidades de aplicações, como em membranas, engenharia de tecidos, filtros, reforço, roupas de proteção etc. O decréscimo do diâmetro das fibras à escala nanométrica propicia uma elevação acentuada da razão de aspecto, ou seja, a razão entre o comprimento e a largura do material, além de maximizar a área superficial

* Autores correspondentes

1 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM), Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR), Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda-RJ.

2 Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos-SP.

3 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM) e Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais (VMT), Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR), Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda-RJ, e-mail: leticiavitorazi@id.uff.br.

4 Instituto de Física de São Carlos (IFSC) e Departamento de Física e Ciência dos Materiais (Grupo de Polímeros "Prof. Bernhard Gross"), Universidade de São Paulo (USP), São Carlos-SP, e-mail: rafa.rrtp@gmail.com.

específica (Medeiros et al., 2009). Com isso, promove-se uma alteração de textura e aparência, aumento das propriedades mecânicas, tais como rigidez e resistência à tração, isolamentos térmico e acústico e capacidade de retenção de líquidos (Greiner; Wendorff, 2007; Medeiros et al., 2009). Em adição, facilita a interação com outros materiais, incluindo partículas e/ou substâncias, o que a torna um material multifuncional (Huang et al., 2003).

Diante dessas propriedades, nota-se um aumento gradativo quanto às aplicações das nanofibras em diferentes setores. Destacam-se aplicações na medicina, como meios para encapsulamento e liberação controlada de fármacos (Kamble et al., 2017), *scaffolds* aplicados em engenharia tecidual (Yu et al., 2014) e curativos para regeneração da pele (Kamble et al., 2017). No setor de energia (Kenry; Lim, 2017), tem-se a aplicação de nanofibras em células solares (Li et al., 2014), ultracapacitores (Gao et al., 2012), fotocatalise (Shi et al., 2014), além de baterias e células combustíveis (Zeng et al., 2014). Ainda, podem ser usadas como dispositivos voltados para tratamento de água (Wang et al., 2014), em sistemas de filtração de água (Zhuang et al., 2013) e ar (Wang et al., 2018), na adsorção de contaminantes (Farias et al., 2020; Li et al., 2020) e para fabricação de sensores (Miranda et al., 2020).

TÉCNICAS DE FIAÇÃO

Baseada no fenômeno de atomização eletro-hidrodinâmica, a eletrofiação é a técnica de fiação mais explorada na literatura. Isso se deve à sua adaptabilidade a diversos materiais poliméricos e capacidade de produzir fibras muito finas, com diâmetros entre 40 nm e 2 μ m (Medeiros et al., 2009). Nesta técnica, é aplicada uma carga elétrica à solução polimérica de forma a gerar forças repulsivas (Subbiah et al., 2005). Quando tais forças superam a tensão superficial do polímero em uma determinada voltagem crítica, leva-se à geração de um jato a partir de uma gota da solução polimérica formada na ponta da agulha do sistema, o qual é direcionado a um coletor com carga elétrica oposta à da solução (Medeiros et al., 2009). A elevada razão entre a superfície e o volume do jato facilita a ocorrência da evaporação do solvente,

propiciando a constituição de fibras finas sobre o coletor (Medeiros et al., 2009; Parize, 2016).

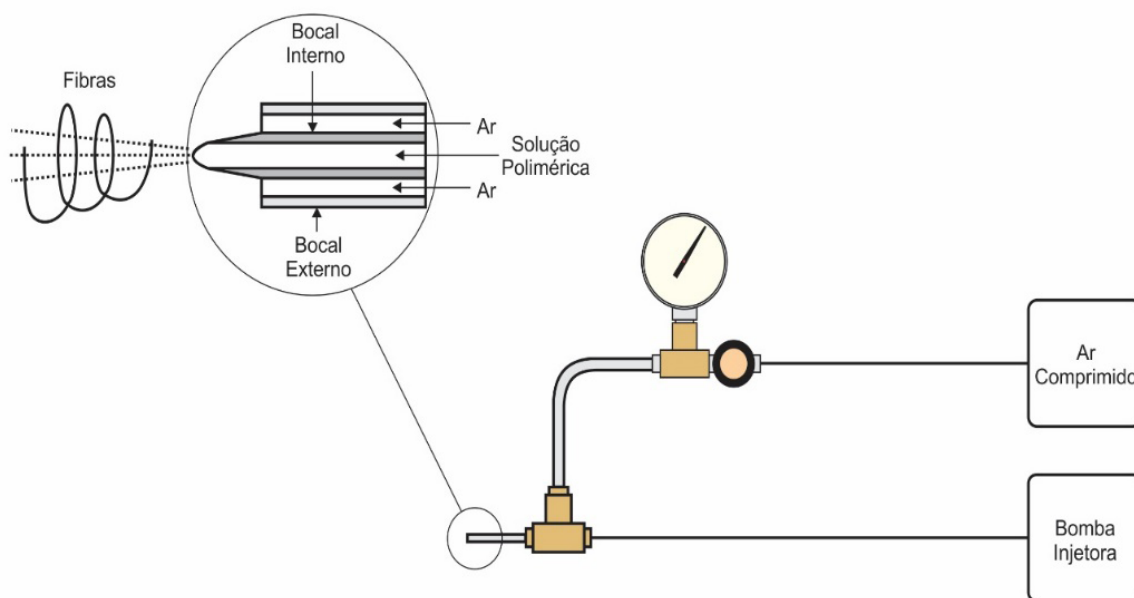
Embora o processo de eletrofiação apresente potencial para a formação de fibras em escala nanométrica em comparação com as demais técnicas, há certas limitações quanto à eficiência de produção e restrição à utilização de solventes com baixas constantes dielétricas (Medeiros et al., 2009). Tais solventes não são adequados à eletrofiação, visto que geralmente são considerados apolares, não favorecendo a mobilidade de cargas na solução, uma propriedade necessária para aumentar a condutividade e favorecer a posterior formação de fibras (Oliveira et al., 2011; Silva; Oliveira; Medeiros, 2015). Como alternativa, surgem outras técnicas como *solution blow spinning*, *centrifugal spinning*, *template synthesis*, *phase inversion*, *spinneret-based tunable engineered parameters* (STEP) ou *drawing techniques*. Entre as técnicas mencionadas, *solution blow spinning* e *centrifugal spinning* são relatadas como as mais vantajosas em relação à escalabilidade (Stojanovska et al., 2016; Dias et al., 2020; Song; Li; Wu, 2020).

Fiação por sopro em solução

O processo de fiação por sopro em solução utiliza elementos conceituais da eletrofiação e da fiação no estado fundido para a produção de fibras com diâmetros nas escalas micro e nanométrica. A técnica permite a produção de fibras com diâmetros equivalentes aos obtidos pela eletrofiação, porém, cerca de uma a duas ordens de grandezas inferiores aos produzidos por meio das técnicas convencionais de fiação (Oliveira et al., 2011; Silva; Oliveira; Medeiros, 2015; Dias et al., 2020). Caracteriza-se por apresentar alta produtividade e baixo custo, viabilizando a produção de fibras em escala comercial (Oliveira et al., 2011). Nesta técnica não é necessário o uso de altas voltagens como na eletrofiação, o que é vantajoso no sentido de permitir a fiação simultânea de células ou outros materiais tais como proteínas, vitaminas e hormônios (Oliveira et al., 2011). As fibras produzidas podem ser depositadas sobre qualquer tipo de superfície, inclusive tecidos vivos (Paschoalin et al., 2017).

A Figura 1 apresenta o aparato experimental da técnica de fiação por sopro em solução.

FIGURA 1 — REPRESENTAÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL EMPREGADO NA FIAÇÃO POR SOPRO EM SOLUÇÃO



Fonte: As autoras (2020).

Após a preparação da solução polimérica a ser fiada, esta é inserida no interior de uma seringa, a qual é acoplada a uma bomba de seringa responsável por manter a taxa de alimentação da solução polimérica constante (Parize, 2016). Um cilindro de gás comprimido ou um compressor é utilizado para o fornecimento de gás, frequentemente ar, nitrogênio ou argônio, sob uma determinada pressão, a qual é controlada por um manômetro e selecionada de acordo com a necessidade do experimento (Vaz; Vieira Costa; De Moraes, 2017). A seringa contendo a solução polimérica e o gás comprimido são conectados a um sistema de bocais concêntricos, onde a solução polimérica é alimentada na agulha interna, cuja projeção pode ser ajustada, enquanto o fluxo de gás é efetuado na agulha externa (Parize, 2016).

A solução polimérica é alimentada através da agulha interna até atingir a agulha externa, local onde a pressão é mais elevada (P_1) devido ao fluxo de gás pressurizado (Medeiros et al., 2009). Esta pressão reduz-se à pressão atmosférica (P_{atm}) na saída da agulha, promovendo o aumento da velocidade

de do gás passando ao redor da agulha interna, conforme o princípio de Bernoulli de conversão da variação da pressão em energia cinética (Parize et al., 2016). A geometria das agulhas leva à criação de uma região de baixa pressão (P2) nas adjacências da agulha interna, de maneira a constituir uma gota de solução polimérica na ponta (Medeiros et al., 2009). Tal gota adquire um formato cônico, similar ao cone de Taylor verificado na técnica de eletrofiação, estando sua deformação associada à ação de forças de arraste, devido à diferença de pressão promovida pela passagem de gás através da agulha externa, promovendo, posteriormente, a formação de um jato de solução polimérica a partir do estiramento do cone (Silva; Oliveira; Medeiros, 2015).

Uma vez que o jato de solução é expelido, este é acelerado até ser depositado sobre o coletor, o qual pode permanecer em condição estática ou rotacionar a uma velocidade pré-determinada e encontra-se posicionado a uma certa distância de trabalho. Durante este trajeto, tem-se a evaporação do solvente, verificando-se ao final do processo a formação de fibras com diâmetros nas escalas micro ou nanométrica, dependendo das condições de processamento (Parize, 2016).

A morfologia e as propriedades das fibras produzidas com a fiação por sopro em solução dependem de parâmetros relacionados à solução polimérica e ao processamento, os quais podem ser alterados de forma a conferir as propriedades e características desejadas para as fibras. Relativamente aos parâmetros da solução, destacam-se sua viscosidade, concentração, tensão superficial, massa molar e volatilidade do solvente (Oliveira et al., 2011).

PREPARAÇÃO

Preparo da solução polimérica para fiação

Durante a seleção dos polímeros e preparo da solução de fiação, alguns parâmetros devem ser considerados, dentre eles estão a viscosidade e a tensão superficial da solução, a concentração e a massa molar do polímero e o solvente adequado, principalmente quanto à volatilidade.

O parâmetro determinante para produzir fibras a partir do polímero em solução na fiação por sopro é o comportamento viscoelástico do material. Para produzir fibras, a solução polimérica deve apresentar viscosidade adequada e escoar continuamente quando submetida às forças externas.

É necessária uma concentração mínima de polímero para a interação entre as moléculas ter um comportamento viscoelástico para uma fiação bem-sucedida. A concentração ou viscosidade mínima, em geral, está associada a um nível de emaranhamento das cadeias no regime semidiluído. Deve-se encontrar um intervalo de concentração com propriedades viscoelásticas adequadas para cada material usado na fiação.

Outro parâmetro importante é a massa molar do polímero, pois normalmente o emaranhamento das cadeias é menor em polímeros de baixa massa molar, podendo impedir o estiramento na forma de um jato ou fibra polimérica. Para polímeros de massas molares menores, pode-se aumentar a concentração do polímero na solução. Já com aumento exagerado da concentração, a viscosidade pode ser demasiado alta e impossibilitar a fiação antes do emaranhamento das cadeias.

Considera-se, para a fiação, altas massas molares acima de 100.000, sendo as baixas entre 30.000 a 50.000 g.mol⁻¹. O solvente também influencia a fiação, em três processos principais: i) secagem das fibras por sua taxa de evaporação; ii) formação de *droplets*, modificando a tensão superficial do fluido; e iii) emaranhamento das cadeias devido à interação solvente-polímero. Uma interação polímero-solvente fraca pode gerar *droplets* devido à retração das moléculas após estiramento no formato de fibras. Para obter mantas poliméricas é necessário estudar diferentes concentrações do polímero em relação ao volume do solvente (% m/v), assim como diferentes solventes, visando a produção de fibras sem defeitos.

Ajuste dos parâmetros de fiação

Apesar dos parâmetros relacionados às características da solução polimérica serem de ampla relevância para a obtenção de fibras mais homogêneas e com boas propriedades, os parâmetros de processamento também são imprescindíveis, visto que a escolha adequada pode influenciar na formação, morfologia e propriedades do produto final. De maneira específica, os principais parâmetros do equipamento compreendem a taxa de alimentação da solução, a pressão aplicada ao gás, a distância de trabalho, a velocidade de rotação do coletor (caso não seja mantido estático) e os parâmetros ambientais (temperatura e umidade relativa). (Oliveira et al., 2011; Dadol et al., 2020).

A taxa de alimentação da solução polimérica está intrinsicamente relacionada à estabilização do jato e a formação de fibras contínuas, uma vez que, conforme a solução é ejetada na ponta da agulha, esta deve ser contínua para que não ocorra interrupção do processo. A taxa de alimentação pode influenciar tanto na formação das fibras quanto no diâmetro. De maneira geral, o uso de menores taxas possibilita a produção de fibras com diâmetros menores, enquanto maiores taxas podem impossibilitar a evaporação do solvente durante o trajeto da solução até o coletor (Oliveira et al., 2011).

A diferença de pressão ao redor da ponta da agulha, como mencionado anteriormente, está associada à força de arraste, responsável pelo estiramento do jato de solução polimérica propiciando a formação das fibras. A pressão deve ser selecionada de acordo com a necessidade do experimento, visto que, para diferentes viscosidades das soluções formuladas exigem-se diferentes forças de arraste e, conseqüentemente, pressões, para que haja a deformação e o alongamento do fluido (Oliveira et al., 2011). Na literatura, o efeito da pressão sobre o diâmetro das fibras produzidas é controverso (Oliveira et al., 2011). Pressões elevadas implicam em maiores forças de arraste, de forma que a quantidade de material estirado seja maior, formando fibras com diâmetros maiores. Em contrapartida, para altas pressões, a velocidade do gás passando através da agulha externa é elevada, ocasionando uma evaporação mais acentuada do solvente (Oliveira et al., 2011).

Coleta das fibras e parâmetros ambientais

Na fiação por sopro em solução não é necessário usar um aparato específico para a coleta das fibras, que podem ser diretamente depositadas nos mais diferentes substratos. Como exemplos, podem ser citados papel, metal ou plástico, tecido vivo (Chen et al., 2017) e coletores com diferentes geometrias, que podem ser projetados e usados com rotação, estáticos ou em formatos tridimensionais (Sahay; Thavasi; Ramakrishna, 2011).

O método mais usual para coleta consiste em um coletor cilíndrico rotativo recoberto por papel alumínio e com velocidade de rotação controlada (Medeiros et al., 2009; Teno; González-Gaitano; González-Benito, 2017). Também podem ser usados coletores estáticos, como placa de Petri

(Chen et al., 2017), grades metálicas (Sett; Stephansen; Yarin, 2016) e de teflon (Behrens et al., 2016). Os coletores ainda podem ser projetados para gerar uma estrutura tridimensional ou, por exemplo: um par de tubos alinhados paralelamente para o alinhamento das fibras, como o desenvolvido por Jia et al. (2013); na forma de gaiola, como reportado por Wang et al. (2017), o qual permite a passagem de ar para produzir uma estrutura altamente porosa; um arranjo circular de hastes curvadas com rotação, desenvolvido por Liang et al. (2017); uma câmara de vidro fechada com aquecimento e coletor circular para produzir fibras na forma de “bolas de algodão” (*cotton-wool*), como apresentado por Medeiros et al (2021).

A distância de trabalho compreende a distância entre o sistema coaxial e o coletor. O ideal é que a distância de trabalho tenha um valor mínimo para que, durante o trajeto das fibras em direção ao coletor, ocorra a completa evaporação do solvente e um valor máximo, suficiente para que as fibras sejam depositadas sobre o coletor (Bhardwaj; Kundu, 2010).

Por fim, parâmetros ambientais, tais como umidade relativa e temperatura também influenciam o processo de fiação. Baixos valores de umidade relativa facilitam a evaporação do solvente, possibilitando a formação de fibras mais homogêneas (Bhardwaj; Kundu, 2010). Altos valores, em contrapartida, propiciam a união das fibras devido à presença de solvente no ambiente (Cui et al., 2006). O efeito da temperatura influencia, sobretudo, na viscosidade das soluções e na taxa de evaporação do solvente, alterando a morfologia das fibras (Hofmann et al., 2018).

Caracterização

O processo de rápida solidificação do polímero na técnica de fiação por sopro em solução pode gerar morfologias variadas, tais como nanofibras rugosas, lisas ou porosas. Uma caracterização das fibras nanoestruturadas deve incluir resultados de morfologia com microscopia eletrônica de varredura (MEV), de transmissão (MET) e microscopia de força atômica (MFA). As fibras podem ser caracterizadas por MEV para determinação do tamanho, diâmetro, porosidade, tamanho de poros e uniformidade das nanofibras. Para cada ensaio, cerca de 100 a 1000 nanofibras são

medidas com um *software* e os dados de tamanho de fibras são analisados estatisticamente.

No caso de nanofibras compósitas, a distribuição dos nanomateriais ao longo das fibras pode ser verificada com MET. Com MFA é feita caracterização morfológica dos materiais em nível molecular entre uma ponta de contato e a superfície a ser analisada. As medidas de MFA são realizadas localmente na interface do polímero puro e/ou de misturas de polímero com outros materiais, percorrendo áreas de centenas de angstroms quadrados, fornecendo a topografia da superfície das fibras.

Quanto à caracterização estrutural, a espectroscopia no infravermelho é usada para identificar os grupos funcionais e as interações a nível molecular. Análises térmicas, como a calorimetria exploratória diferencial, são usadas para avaliar propriedades térmicas das mantas e possíveis mudanças estruturais (cristalinidade e transições de fase) em função das condições experimentais usadas para produzir as nanofibras, devido à rápida solidificação dos polímeros durante a fiação. A cristalinidade também pode ser analisada por difração de raios-X. As propriedades mecânicas das mantas podem ser analisadas com analisadores dinâmico-mecânicos e o grau de hidrofiliicidade pode ser verificado com ângulo de contato (Oliveira *et al.*, 2013; Paschoalin *et al.*, 2017).

CONCLUSÃO

A fiação por sopro em solução combina elementos da eletrofiação e fiação no estado fundido e apresenta vantagens em relação às técnicas mais tradicionais, como alta produtividade, baixo custo, facilidade de operação e possibilidade de fiação com biomateriais, além de também produzir fibras poliméricas em escala micro e nanométrica. No preparo da fiação por sopro em solução, devem ser considerados parâmetros da solução polimérica e do processo de fiação que podem influenciar diretamente na formação e propriedades da fibra produzida. A técnica de fiação por sopro em solução é uma importante alternativa para obtenção de nanofibras poliméricas, com grande potencial comercial, aplicáveis em diversas áreas.

AGRADECIMENTOS

L. Vitorazi agradece à Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) pela bolsa de Jovem Cientista do Nosso Estado (Processo E-26/202.724/2019) e pelo projeto E-26/010.000982/2019. Silva, M. B. agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudo de mestrado.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, L. M. et. al. Review: Characteristics of Nanoparticles and Their Potential Applications in Foods. *Brazilian Journal of Food Technology*, Brasil, v. 15, p. 99-109, abr. 2012.
- BEHRENS, A. M. et. al. Rapid Fabrication of Poly(DL-lactide) Nanofiber Scaffolds with Tunable Degradation for Tissue Engineering Applications by Air-Brushing. *Biomedecial Materials*, Inglaterra, v. 11, n. 3, p. 035001, 2016.
- BHARDWAJ, N.; KUNDU, S. C. Electrospinning: A Fascinating Fiber Fabrication Technique. *Biotechnology Advances*, Holanda, v. 28, n. 3, p. 325-347, 2010.
- CHEN, C. et. al. Microchip-Based 3D-Cell Culture Using Polymer Nanofibers Generated by Solution Blow Spinning. *Analytical Methods*, Inglaterra, v. 9, n. 22, p. 3274-3283, 2017.
- CUI, W. et. al. Investigation on Process Parameters of Electrospinning System Through Orthogonal Experimental Design. *Journal of Applied Polymer Science*, Estados Unidos, v. 103, n. 5, p. 3105-3112, 2006.
- DADOL, G. C. et. al. Solution Blow Spinning (SBS) and SBS-Spun Nanofibers: Materials, Methods, and Applications. *Materials Today Communications*, Holanda, v. 25, p. 101656, 2020.
- DIAS, F. T. G. et. al. The Main Blow Spun Polymer Systems: Processing Conditions and Applications. *Journal of Polymer Research*, Suíça, v. 27, n. 8, p. 205, 2020.
- FARIAS, R. M. C. et. al. Green Synthesis of Porous N-Carbon/Silica Nanofibers by Solution Blow Spinning and Evaluation of Their Efficiency in Dye Adsorption. *Journal of Materials Research and Technology*, Holanda, v. 9, n. 3, p. 3038-3046 2020.
- GAO, K. et. al. Cellulose Nanofiber-Graphene All Solid-State Flexible Supercapacitors. *Journal of Materials Chemistry A*, Inglaterra, v. 1, n. 1, p. 63-67, 2012.
- GREINER, A.; WENDORFF, J. H. Electrospinning: A Fascinating Method for The Preparation of Ultrathin Fibres. *Angewandte Chemie International Edition*, Alemanha, v. 46, n. 30, p. 5670-5703, 2007.
- HOFMANN, E. et. al. Microfluidic Nozzle Device for Ultrafine Fiber Solution Blow Spinning with Precise Diameter Control. *Lab on a Chip*, Inglaterra, v. 18, n. 15, p. 2225-2234, 2018.
- HUANG, Z. et. al. A Review on Polymer Nanofibers by Electrospinning and Their Applications in Nanocomposites. *Composites Science and Technology*, Holanda, v. 63, n. 15, p. 2223-2253, 2003.

- JIA, K. et. al. Solution Blown Aligned Carbon Nanofiber Yarn as Supercapacitor Electrode. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, Canada, v. 24, n. 12, p. 4769-4773, 2013.
- KAMBLE, P. et. al. Nanofiber Based Drug Delivery Systems for Skin: A Promising Therapeutic Approach. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, Holanda, v. 41, p. 124-133, 2017.
- KENRY; LIM, C. T. Nanofiber Technology: Current Status and Emerging Developments. *Progress in Polymer Science*, Holanda, v. 70, p. 1-17, 2017.
- LI, F. et. al. Efficiency Enhancement of ZnO-Based Dye-Sensitized Solar Cell by Hollow TiO₂ Nanofibers. *Journal of Alloys and Compounds*, Holanda, v. 611, p. 19-23, 2014.
- LI, R. et. al. Polycaprolactone/Poly(L-lactic Acid) Composite Micro/Nanofibrous Membrane Prepared through Solution Blow Spinning For Oil Adsorption. *Materials Chemistry and Physics*, Holanda, v. 241, p. 122338, 2020.
- LIANG, F. et. al. Fabrication of Three-Dimensional Micro-Nanofiber Structures by a Novel Solution Blow Spinning Device. *AIP Advances*, Estados Unidos, v. 7, n. 2, p. 025002, 2017.
- MEDEIROS, E. S. et. al. Solution Blow Spinning: A New Method to Produce Micro- and Nanofibers from Polymer Solutions. *Journal of Applied Polymer Science*, Estados Unidos, v. 113, n. 4, p. 2322-2330, 2009.
- MEDEIROS, E. L. G. et. al. 3D Nanofibrous Bioactive Glass Scaffolds Produced by One-Step Spinning Process. *Ceramics International*, Holanda, v. 47, n. 1, p. 102-110, 2021.
- MIRANDA, K. W. E. et. al. Halochromic Polystyrene Nanofibers Obtained by Solution Blow Spinning for Wine pH Sensing. *Sensors*, Suíça, v. 20, n. 2, 2020.
- MNYUSIWALLA, A.; DAAR, A. S.; SINGER, P. A. Mind the Gap: Science and Ethics in Nanotechnology. *Nanotechnology*, Inglaterra, v. 14, n. 3, p. R9-R13, 2003.
- OLIVEIRA, J. E. et. al. Nano and Submicrometric Fibers of Poly(D,L-Lactide) Obtained by Solution Blow Spinning: Process and Solution Variables. *Journal of Applied Polymer Science*, Estados Unidos, v. 122, n. 5, p. 3396-3405, 2011.
- OLIVEIRA, J. E. et. al. Structural and Morphological Characterization of Micro and Nanofibers Produced by Electrospinning and Solution Blow Spinning: A Comparative Study. *Advances in Materials Science and Engineering*, Egito, v. 2013, p. 1-14, 2013. et al

- PARIZE, D. D. S.; et al. Solution Blow Spinning: Parameters Optimization and Effects on the Properties of Nanofibers from Poly(lactic Acid)/Dimethyl Carbonate Solutions. *Journal of Materials Science*, Suíça, v. 51, n. 9, p. 4627-4638, 2016.
- PASCHOALIN, R. T. et. al. Solution Blow Spinning Fibres: New Immunologically Inert Substrates for the Analysis of Cell Adhesion and Motility. *Acta Biomaterialia*, Holanda, v. 51, p. 161-174, 2017.
- SAHAY, R.; THAVASI, V.; RAMAKRISHNA, S. Design Modifications in Electrospinning Setup for Advanced Applications. *Journal of Nanomaterials*, Egito, v. 2011, p. 1-17, 2011.
- SETT, S.; STEPHANSEN, K.; YARIN, A. L. Solution-Blown Nanofiber Mats from Fish Sarcoplasmic Protein. *Polymer*, Holanda, v. 93, p. 78-87, 2016.
- SHI, H. et. al. Highly Porous SnO₂/TiO₂ Electrospun Nanofibers with High Photocatalytic Activities. *Ceramics International*, Holanda, v. 40, n. 7, Part B, p. 10383-10393, 2014.
- SILVA, T.H., OLIVEIRA, J.E., MEDEIROS, E.S. Obtenção de micro e nanofibras de PVC pela técnica de fiação por sopro em solução. *Polímeros*, Brasil, v. 25, n. 2, p. 229-235, 2015.
- SONG, J.; LI, Z.; WU, H. Blowspinning: A New Choice for Nanofibers. *ACS Applied Materials & Interfaces*, Estados Unidos, v. 12, n. 30, p. 33447-33464, 2020.
- STOJANOVSKA, E. et. al. A Review on Non-Electro Nanofibre Spinning Techniques. *RSC Advances*, Inglaterra, v. 6, n. 87, p. 83783-83801, 2016.
- SUBBIAH, T. et. al. Electrospinning of Nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, Estados Unidos, v. 96, n. 2, p. 557-569, 2005.
- TENO, J.; GONZÁLEZ-GAITANO, G.; GONZÁLEZ-BENITO, J. Poly (Ethylene-Co-Vinyl Acetate) Films Prepared by Solution Blow Spinning: Surface Characterization and Its Relation with E. Coli Adhesion. *Polymer Testing*, Holanda, v. 60, p. 140-148, 2017.
- VAZ, B. da S.; VIEIRA COSTA, J. A.; DE MORAIS, M. G. Production of Polymeric Nanofibers with Different Conditions of the Electrospinning Process. *Materia*, Brasil v. 22, n. 2, 2017.
- WANG, H. et. al. Ultralight, Scalable, and High Temperature-Resilient Ceramic Nanofiber Sponges. *Science Advances*, Estados Unidos, v. 3, n. 6, p. e1603170, 2017.
- WANG, Y. et. al. In Situ Synthesis of MnO₂ Coated Cellulose Nanofibers Hybrid for Effective Removal of Methylene Blue. *Carbohydrate Polymers*, Holanda, v. 110, p. 302-308, 2014.

WANG, H. et. al. High-Temperature Particulate Matter Filtration with Resilient Yttria-Stabilized ZrO₂ Nanofiber Sponge. *Small*, Alemanha, v. 14, n. 19, p. 1800258, 2018.

YU, J. et. al. Electrospun PLGA Fibers Incorporated with Functionalized Biomolecules for Cardiac Tissue Engineering. *Journal of Tissue Engineering Part A*, Estados Unidos, v. 20, n. 13-14, p. 1896-1907, 2014.

ZENG, L. et. al. Free-Standing Porous Carbon Nanofibers-Sulfur Composite for Flexible Li-S Battery Cathode. *Nanoscale*, Inglaterra, v. 6, n. 16, p. 9579-9587, 2014.

ZHANG, Y.; LIM, C.; RAMAKRISHNA, S.; HUANG, Z. Recent Development of Polymer Nanofibers for Biomedical and Biotechnological Applications. *J of Material Science: Materials in Medicine*, Alemanha, v. 16, n. 10, p. 933-946, 2005.

ZHUANG, X. et. al. Solution Blown Nanofibrous Membrane for Microfiltration. *Journal of Membrane Sciences*, Holanda, v. 429, p. 66-70, 2013.