

Produção de fibras eletrofiadas e seus usos na preservação de alimentos: uma revisão

RESUMO

Laura Mariana Leal Lopes Soares

lauramariana2992@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0001-9231-0759>

Universidade Federal da Fronteira Sul,
Laranjeiras do Sul, Paraná, Brasil.

David Fernando dos Santos

davidfernandods@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0001-5864-7489>

Universidade Federal da Fronteira Sul,
Laranjeiras do Sul, Paraná, Brasil.

Vivian Machado de Menezes

vivian.menezes@uffs.edu.br

<http://orcid.org/0000-0002-7331-4583>

Universidade Federal da Fronteira Sul,
Laranjeiras do Sul, Paraná, Brasil.

Vania Zanella Pinto

vania_vzp@hotmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-7081-5446>

Universidade Federal da Fronteira Sul,
Laranjeiras do Sul, Paraná, Brasil.

A preservação de alimentos é um desafio constante e dentre as diferentes estratégias para isso, o desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes possui grande destaque. A produção de fibras para a aplicação em embalagens de alimentos é o foco de diversos estudos e uma análise do processo de eletrofição ou *electrospinning* (ES) permite ressaltar os potenciais do processo na preservação de alimentos. As fibras são depositadas como membranas, as quais são usadas como parte constituinte de embalagens e/ou coberturas para a conservação de frutas, verduras, carnes. O processo tradicional necessita cerca de 10-20 kV para produzir fibras finas, lisas e homogêneas, por ser um processo eletrohidrodinâmico. No entanto, essa não é a única forma para obter fibras para a conservação de alimentos e melhorar a viabilidade do processo. Assim, algumas mudanças foram bem-sucedidas no *setup* do equipamento, alterando o tipo de coletor, que promovem o alinhamento das fibras, bem como no sistema de fornecimento da solução formadora de fibras, com modelos de superfície livre. Ainda, é possível substituir a fonte de alta tensão por forças de cisalhamento, que resulta no processo de fiação por sopro em solução (SBS). Este utiliza a pressão de um gás para gerar cisalhamento na solução e consequente formação de fibras, as quais são depositadas diretamente no coletor ou no alimento. Neste mesmo contexto, o processo de *electro-blow-spinning* (EBS) consiste na união dos dois processos (ES e SBS), que pode ser amplamente explorado e escalável para o desenvolvimento de embalagens e sistemas ativos e inteligentes para embalagens de alimentos. Com isso, fibras geradas por ES, SBS ou EBS permitem desenvolver embalagens especializadas; dentre algumas aplicações, elas são capazes de estender, em média, um terço da vida de útil de produtos alimentícios.

PALAVRAS-CHAVE: *electrospinning*; *solution blowspinning*; *electro-blow-spinning*; embalagens de alimentos; conservação de alimentos.

INTRODUÇÃO

A preservação de alimentos sempre foi uma preocupação da humanidade para poupar seus recursos, evitar desperdícios e garantir o consumo regular de comida. Uma forma de evitar a perda de alimentos é garantir que cheguem em bom estado de conservação até os consumidores. Neste contexto, as embalagens exercem funções fundamentais de conter, preservar, informar e garantir conveniência para o consumidor (Figura 1) (MIHINDUKULASURIYA; LIM, 2014). Além das funções básicas, as embalagens ainda podem apresentar interações desejáveis com os alimentos e ambiente, tornando-se ativas e/ou inteligentes. Estas embalagens são capazes de fornecer a proteção mecânica, conservação e conveniência das embalagens convencionais e, ao mesmo tempo, interagem de forma desejável e controlada com o produto que envolvem (NIAMAH *et al.*, 2021; PRIYADARSHI; EZATI; RHIM, 2021).

As embalagens ativas liberam ou absorvem compostos responsáveis por alterações químicas e biológicas nos alimentos. O sequestro ou liberação de gases (CO₂, O₂, etileno), a liberação de compostos antioxidantes, absorção de umidade promovem formação de atmosferas que retardam o amadurecimento de frutas, por exemplo, e promovem manutenção de cor e reduzem a oxidação de lipídios. A presença de agentes antimicrobianos nas embalagens ativas impede o crescimento de microrganismos patógenos e/ou deteriorantes e estende a vida útil de alimentos com atividade de água elevada (BHARGAVA *et al.*, 2020; DEY; NEOGI, 2019; LIN; DECKER; GODDARD, 2016; LIN; GODDARD, 2018; WANG *et al.*, 2021; YILDIRIM *et al.*, 2018).

Por outro lado, as embalagens inteligentes interagem com o alimento, monitorando a sua qualidade, e informam o consumidor sobre possíveis alterações que comprometem a qualidade do produto (TAYLOR, 2010). Estas mudanças podem ser fisiológicas, como respiração e senescência de frutos, ou mesmo indesejáveis, como contaminação e degradação de produtos cárneos, laticínios ou ocorrência de processos oxidativos. Com isso, alterações de pH, presença ou liberação de gases no espaço livre que circula o produto são monitorados e, por meio de reações químicas com a embalagem, indicam o amadurecimento ou degradação (GUO *et al.*, 2020; MIRANDA *et al.*, 2020). A Figura 1 fornece um panorama visual das funções de embalagens para alimentos.

A liberação controlada de substâncias antibacterianas para a área biomédica já é amplamente explorada (LUONG-VAN *et al.*, 2006; MAHMUD *et al.*, 2020) e serve de base para a exploração na área alimentícia. A incorporação de isotiocianato em membranas eletrofiadas produzidas a partir de uma mistura de poli(ácido lático) e poli(óxido de etileno), permitiu desenvolver sistemas com atividade antimicrobiana e as fibras geradas apresentam grande potencial para uso em embalagens (DAI; LIM, 2015). Desta forma, a incorporação de substâncias ativas em fibras e membranas consiste em uma forma promissora de produzir embalagens ativas e inteligentes. O uso de membranas e fibras que possuem extratos naturais ou óleos essenciais capazes de fornecer o efeito desejado para cada necessidade é amplamente estudado no desenvolvimento de sistemas ativos e inteligentes (DIERINGS DE SOUZA *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2020).

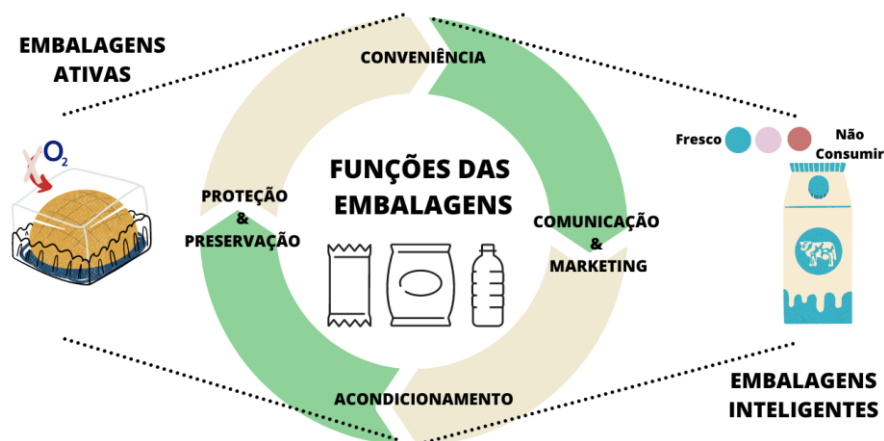


Figura 1. Função básicas e avançadas de embalagens para alimentos.
FONTE: Adaptado de (BATISTA *et al.*, 2021).

Os materiais com área superficial elevada apresentam vantagens para a aplicação em nestes sistemas ativos e inteligentes, favorecendo as interações entre alimento, meio ambiente, espaço interno, embalagem (MIHINDUKULASURIYA; LIM, 2014). A eletrofiação ou *electrospinning* (ES) é um processo de formação de fibras com bastante adesão a este objetivo. O ES produz fibras ultrafinas ou fibras nanométricas na forma de membranas obtidas pela aplicação de altas tensões. Trata-se de um processo eletrohidrodinâmico, regido pelos efeitos de um campo elétrico em meios hidrodinâmicos contínuos. A aplicação dos materiais obtidos nesse processo é verificada em diversas áreas, como na engenharia de tecidos e biomédica, produção de membranas de filtração, liberação controlada de fármacos e aplicação na proteção e conservação de alimentos (DIERINGS DE SOUZA *et al.*, 2021b; HUANG *et al.*, 2003; MERCANTE *et al.*, 2021; NIAMAH *et al.*, 2021; YU *et al.*, 2017) (Figura 2).

As fibras e nanofibras geralmente são produzidas a partir de soluções contendo materiais poliméricos sintéticos e/ou biomiméticos, como poliésteres, poliamidas, polihidroxialcanoatos, ou naturais, como carboidratos e proteínas, além das misturas de diferentes substâncias para gerar uma solução aplicável ao processo de eletrofiação, denominadas blendas (LIM; MENDES; CHRONAKIS, 2019; PERTICI *et al.*, 2018). Na solução polimérica podem ser incorporados compostos ativos com as características desejadas e que serão imobilizados nas fibras. Por ser um processo não-térmico, os compostos ativos não sofrem perdas das suas funções ao serem eletrofiadas (LIM, 2021; YU *et al.*, 2017).

Este processo vem atraindo a atenção de pesquisadores e indústrias, que buscam melhorar o seu rendimento, desenvolvendo diferentes *setups* dos equipamentos, ajustando parâmetros em sistemas coletores de fibras ou as formas de produzir fibras. Dentre as variações no processo de eletrofiação alguns são bem conhecidos, como o uso de coletores rotativos ao invés de estáticos e o uso de superfície livre (YU *et al.*, 2017). As variações utilizando ar comprimido são o *solution-blown-spinning* e o *electro-blown-spinning* e serão revisados e descritos neste artigo, bem como o seu uso em sistemas ativos ou inteligentes para a preservação de alimentos.

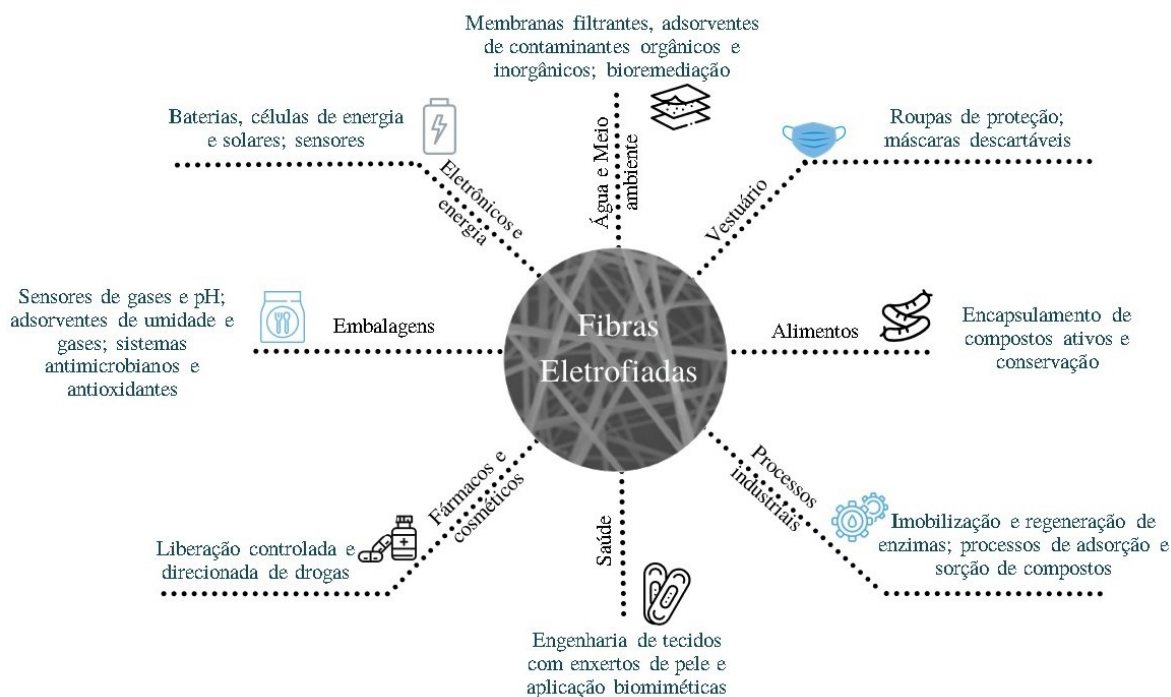


Figura 2. Principais usos das fibras produzidas por eletrofição e suas variações.
FONTE: Autoria própria, 2021.

ELETROFIÇÃO

A eletrofição é um processo eletrohidrodinâmico, utilizado para a produção de fibras com diâmetros da ordem de micro e nanômetros, por meio de um processo eletrostático da solução polimérica. Os diâmetros destas fibras variam entre as dimensões de nanotubos de carbono e microfibras têxteis (BHARDWAJ; KUNDU, 2010; LIM; MENDES; CHRONAKIS, 2019). O sistema de ES é composto basicamente por três partes (ver Figura 3): uma fonte de alta tensão (a), um sistema de infusão da solução (c) e um coletor aterrado (e) (PERSANO *et al.*, 2013). Durante o processo, o polo positivo da fonte de alimentação de alta tensão, que varia entre 5 e 30 kV, é conectado a um sistema de um sistema de bocal/capilar/agulha para a saída da solução (b), enquanto o coletor das fibras já formadas é conectado a um aterramento, conforme detalhado na Figura 3. Com a diferença de potencial entre os polos, há a formação de um campo elétrico.

A solução formadora de fibras (d) é bombeada para fora de um capilar/agulha e, neste momento, o processo eletrohidrodinâmico inicia-se na ponta da agulha (g). Este é o ponto principal da ES, no qual as cargas da solução são distribuídas de maneira a garantir o equilíbrio eletrostático da solução. As cargas positivas se posicionam na superfície da gota formada na ponta da agulha, enquanto isso, um campo elétrico é formado pela diferença de potencial entre a saída da solução e o coletor aterrado (BHARDWAJ; KUNDU, 2010; COSTA *et al.*, 2011; HUANG *et al.*, 2003; LIM; MENDES; CHRONAKIS, 2019).

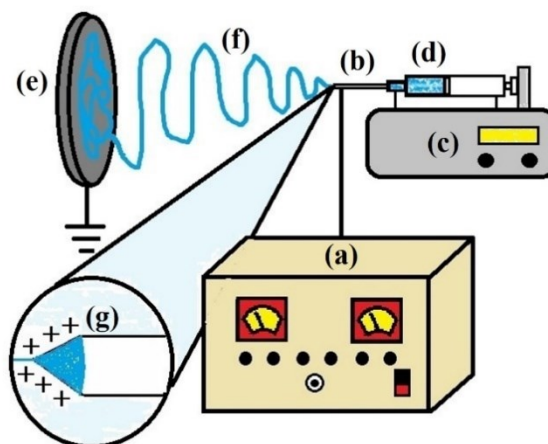


Figura 3. Sistema de eletrofiação composto por (a) fonte de alta tensão, (b) agulha, (c) bomba de infusão, (d) seringa contendo solução de trabalho, e (e) coletor estático. Detalhe da (f) representação do espalhamento do jato e (g) do cone de Taylor. FONTE: Autoria própria, 2021.

A disposição das cargas na superfície da gota promove a geração de uma força elétrica na solução, atuando para alongar a gota, perdendo a forma esférica e se tornando um cone, o cone de Taylor (g). Em determinado ponto, a força elétrica supera a tensão superficial da solução e faz esta ser ejetada em direção ao coletor a uma velocidade de aproximadamente 600 m.s^{-2} (f) (BHARDWAJ; KUNDU, 2010; COSTA *et al.*, 2011; HUANG *et al.*, 2003; LIM; MENDES; CHRONAKIS, 2019). Inicialmente a solução é ejetada como um jato linear, mas com o alongamento da solução, a densidade superficial de cargas aumenta, gerando um colapso dessa região linear que altera a geometria do jato para um movimento circular, conhecido como efeito chicote. O espalhamento do jato é controlado pela repulsão das cargas que provoca o seu estiramento, cada vez mais intenso, proporcionando a evaporação do solvente e depositando o material no coletor, na forma de fibras ultrafinas (COSTA *et al.*, 2011; LIM; MENDES; CHRONAKIS, 2019).

O processo de ES conta com diversas variáveis para a formação de fibras, sendo notável a influência das propriedades da solução formadora de fibras, como viscosidade e concentração do material utilizado, tensão superficial, condutividade elétrica da solução e concentração do material utilizado. Essas características interagem com os parâmetros instrumentais e ambientais, como voltagem aplicada e diferença de potencial, vazão da solução, distância entre o coletor e a agulha, tipo de coletor, a umidade relativa e temperatura ambiental (DING *et al.*, 2019). Diversos materiais são utilizados na ES, o que demonstra a necessidade de ajustes específicos nos parâmetros experimentais para cada material ou solução, visando a obtenção de fibras com as características desejadas (CASTRO COELHO; NOGUEIRO ESTEVINHO; ROCHA, 2021; LIM, 2021; TEO; RAMAKRISHNA, 2006).

Dentre os materiais mais estudados para fibras com aplicações em alimentos estão os comestíveis poliméricos e não poliméricos naturais, como polissacarídeos, proteínas e materiais e não poliméricos, como os fosfolípidios (BHARDWAJ; KUNDU, 2010; DIERINGS DE SOUZA *et al.*, 2021; LIM; MENDES; CHRONAKIS, 2019; MENDES; CHRONAKIS, 2021a). Por outro lado, para aplicações em embalagens, diversos polímeros sintéticos, biodegradáveis ou não, também são

frequentemente empregados. Os mais estudados são os polímeros como poli (ácido láctico) (PLA), poli caprolactona (PCL), poli (acetato de vinila) (PVA), poli (óxido de etileno) (PEO), poli (hidroxibutirato) (PHB), além de polímeros naturais como carboidratos (amido, derivados de celulose, pululano) e proteínas (glúten, zeína, proteína do soro de leite e da soja) (HUANG *et al.*, 2003; LIM, 2021).

A produção média de um sistema de ES de laboratório é 0,01-0,1 g h⁻¹ de fibras ou nanofibras (ZHANG, Y. *et al.*, 2018). Desta forma, diversas adaptações foram desenvolvidas no processo de ES para garantir maior viabilidade e flexibilidade ao processo, com o aumento da escala de produção e de aplicações na indústria (PERSANO *et al.*, 2013). A alteração mais simples e mais comum é a mudança do tipo de coletor, partindo de coletores planos estáticos para coletores rotativos. Estes sistemas com rotação garantem a uniformidade e alinhamento das fibras, continuidade do processo, e a possibilidade de explorar a relação entre a rotação do coletor e o diâmetro das fibras formadas (HAIDER *et al.*, 2013). Os coletores estáticos favorecem a produção fibras com forma randômica e com diâmetros maiores, enquanto as fibras depositadas em coletores rotativos possuem menor diâmetro e são alinhadas de maneira mais uniforme (ALFARO DE PRÁ *et al.*, 2017).

As limitações do processo de eletrofiação estão relacionadas com as propriedades da solução e o seu impacto no fenômeno eletrohidrodinâmico. Com isso, o ponto chave para a escalabilidade deste processo está relacionado às interações complexas da solução no modelo de eletrofiação utilizado (YU *et al.*, 2017). Assim, as variações no processo possibilitam maior produtividade e estabilidade (BHARDWAJ; KUNDU, 2010; LIM, 2021). Ainda há equipamentos que proporcionam a formação de fibras a partir de uma superfície livre como pratos planos, fios recobertos com a solução formadora de fibras e cilindros que giram em contato com a solução, formando fibras a partir de sua superfície (YU *et al.*, 2017).

VARIAÇÕES DO PROCESSO DE FORMAÇÃO DE FIBRAS

Outras variações da ES se referem às mudanças no método pelo qual as fibras são formadas e conseqüentemente, nos princípios que regem a formação de das fibras. Esses ajustes não alteram a influência dos parâmetros de processo (temperatura, distância de trabalho, umidade) da solução (concentração, viscosidade) na morfologia de fibras formadas, mas apresentam como característica uma maior capacidade de produção de fibras, em comparação com ES tradicional e, principalmente, quando em escala laboratorial (MEDEIROS *et al.*, 2009; UM *et al.*, 2004).

O processo de fiação por Sopros em Solução, conhecido como *Solution Blow Spinning* (SBS), é outro método de produção de fibras. O equipamento é demonstrado na Figura 4(a), sendo formado por um compressor de ar/gás comprimido, com controle de pressão, um sistema injetor da solução que permita o arraste da solução pelo ar pressurizado, o qual pode ser um sistema coaxial ou mesmo um aerógrafo, e um coletor, posicionado a determinada distância (CENA *et al.*, 2015). A principal diferença entre a ES e o SBS é a ausência da fonte de alimentação. Neste processo, a formação de fibras se inicia quando a força de cisalhamento do ar comprimido supera a tensão superficial da solução, e há o direcionamento dela para o bocal do sistema, sendo ejetada em direção do

coletor. Este processo de formação de fibras é um fenômeno regido pela equação de Bernoulli (MEDEIROS *et al.*, 2009).

O método processo de *electro-blown-spinning* (EBS), é mais uma possibilidade para a formação de fibras e nanofibras., que consiste na união dos dois métodos anteriormente mencionados (ES e SBS), de forma que seu aparato possui uma fonte de alimentação combinada com um compressor de ar e um bocal concêntrico (Figura 4(b)). O EBS possibilita a interação da força de cisalhamento do ar e as forças eletrostáticas na evaporação do solvente e conseqüente formação de fibras (UM *et al.*, 2004). A formação de fibras a partir do EBS é possibilitada para materiais como politetrafluoretileno (JU *et al.*, 2016), ácido hialurônico (WANG *et al.*, 2005), além de vários outros materiais que não são favorecidos no processo de ES tradicional. Esta é uma técnica pouco explorada, mas apresenta potencial para ser aplicada também na produção de membranas de filtração e destilação (NIKNEJAD *et al.*, 2020).

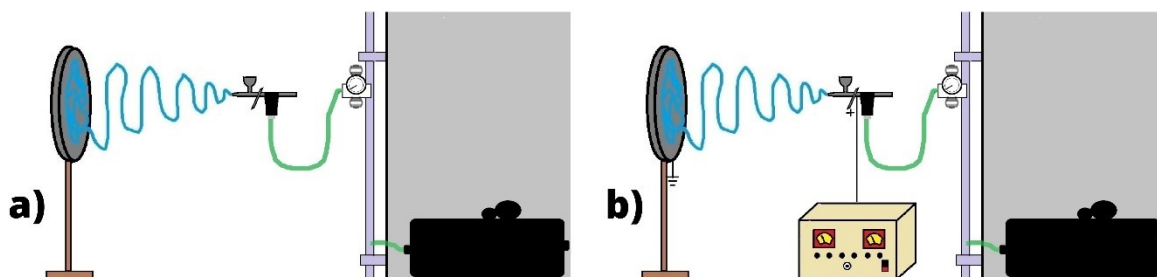


Figura 4. Representação esquemática do aparato do (a) Sistema de fiação por sopra em solução e (b) configuração básica do processo de *electro-blown-spinning*, ambos contendo aerógrafo como bocal ejetor.

FONTE: Autoria própria, 2021.

O bocal de saída da solução (Figura 5) nos sistemas SBS é formado por duas cavidades concêntricas, no qual o gás pressurizado flui pelo orifício externo, gerando uma região de baixa pressão capaz de direcionar a solução formadora de fibras a fluir pelo orifício interno, aumentando assim a sua pressão. Ao sair do bocal e entrar em contato com a pressão atmosférica, há formação de um cone, semelhante ao cone de Taylor presente no ES, e a solução é expelida em direção ao coletor (MEDEIROS *et al.*, 2009; VASIREDDI *et al.*, 2019). Este bocal ou injetor pode ser composto por uma agulha coaxial, uma pistola ou mesmo aerógrafo de pintura acoplados a um gás pressurizado.

Os diferentes métodos de produção de fibras resultam em fibras com morfologias variadas, as quais dependem dos parâmetros da solução e do processo. Os parâmetros relacionados com a solução polimérica utilizada que mais afetam a morfologia são o peso molecular do polímero, concentração, viscosidade e tensão superficial. Por outro lado, os parâmetros relacionados com o processo de SBS e EBS são a pressão do gás, a distância entre o bocal ejetor e o coletor, distância de projeção do bico interno até a saída do equipamento e a vazão da solução (OLIVEIRA *et al.*, 2011, 2013).

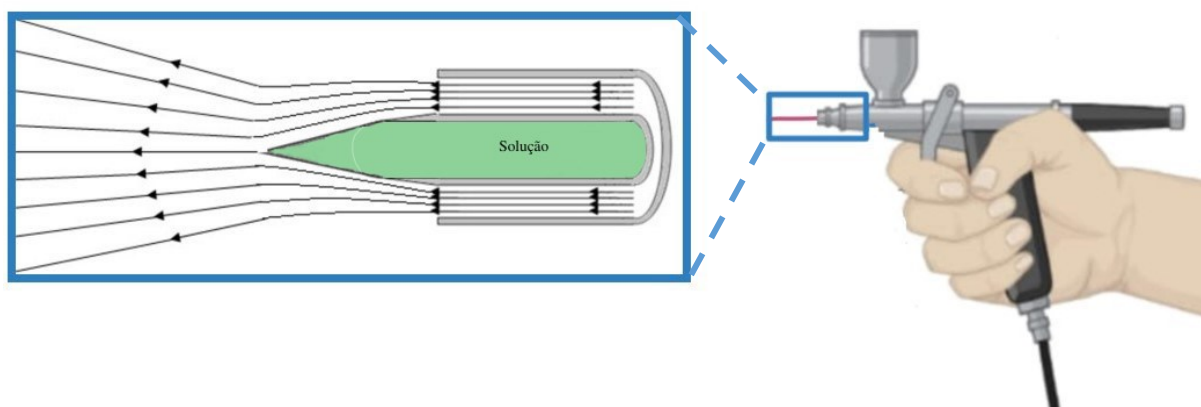


Figura 5: Representação transversal do bocal de saída da solução (em verde) e do gás pressurizado (linhas direcionais).

FONTE: Criado pelo Biorender.com, 2021.

A concentração da solução tem maior influência nos processos de SBS e EBS, sendo que menores concentrações produzem fibras com diâmetros menores e possivelmente com presença de bolhas. Este comportamento se dá pela baixa viscosidade e reduzida tensão superficial das soluções, o que resulta em dificuldade de vencer a resistência do ar ou do potencial elétrico e o não alongamento da solução, e conseqüente formação de bolhas (MIRANDA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2011). Além disso, a pressão do ar e a vazão da solução no processo SBS possuem efeito no diâmetro das fibras, com comportamento não linear (parábola), devido a inter-relação das variáveis, sendo que as condições para cada variável devem ser exploradas e otimizadas em cada aplicação (MEDEIROS *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2011; ZHOU *et al.*, 2017).

O SBS tem elevada capacidade de produção em comparação ao processo de ES; mas possui como problemas a deposição de material de forma desordenada e fibras com diâmetros maiores. Estes efeitos são potencialmente indesejados para algumas aplicações, como produção de membranas para filtração, por resultar em elevada porosidade na membrana e permitir passagem das substâncias indesejadas. Isto pode ser ajustado no método de EBS, no qual as mesmas condições de processo mantêm o alto fluxo e a capacidade produtiva de trabalho e resultam em fibras com diâmetros menores, conseqüentemente com a porosidade menor e maior uniformidade (DARISTOTLE *et al.*, 2016; LI *et al.*, 2015; MEDEIROS *et al.*, 2009; SHI *et al.*, 2017).

O uso de aerógrafo como meio ejetor nestes métodos não é comum, porém se destaca-se pela fácil mobilidade e baixo custo, além da capacidade de produzir fibras com diferentes morfologias e diâmetros (DIAS *et al.*, 2019). As suas aplicações são interessantes quando há necessidade de depósito do material direto em seu objetivo, como na engenharia de tecidos e biomimetização (BEHRENS *et al.*, 2014; SIMBARA *et al.*, 2019) e na adsorção e filtração de óleos (LV *et al.*, 2019; SOW; ISHITA; SINGHAL, 2020; ZHANG, X. *et al.*, 2018). Entretanto, pela dificuldade de controlar a vazão do gás pressurizado de forma precisa, a técnica pode ter problemas em para manter uma morfologia uniforme, além de requerer inúmeros testes de parâmetros de acordo com a aplicação (HELL *et al.*, 2018).

APLICAÇÃO DE FIBRAS NA PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS

As fibras produzidas a partir da ES já são conhecidas pela possibilidade de promover encapsulamento de inúmeras substâncias ativas e microrganismos, como probióticos (CASTRO COELHO; NOGUEIRO ESTEVINHO; ROCHA, 2021; LÓPEZ-RUBIO *et al.*, 2012; MENDES; CHRONAKIS, 2021b). Outra relação alimentícia já estabelecida é a possibilidade de aplicação na preservação de alimentos (DOYLE *et al.*, 2013; SENTHIL MUTHU KUMAR *et al.*, 2019). Além disso, pelo fato de ES não ser um processo térmico, evita que compostos bioativos termosensíveis, tenham perda de suas funções quando forem adicionadas às soluções formadoras de fibras (LIM, 2021).

Diferentes usos de fibras eletrofiadas para prolongar a vida útil de alimentos e o emprego de diferentes materiais para formação destas fibras são amplamente estudados e estão sintetizados na Tabela 1. Os polímeros como PLA, PCL, PVA, PEO, carboidratos (amido, celulose, etil acetato de celulose (EC), pululano) e proteínas (glúten, zeína, proteína do soro de leite e de soja) são constantemente empregados para produção de sistemas ativos para a conservação de alimentos ao formar uma solução de solvente, polímero e composto bioativo.

As fibras geradas por ES são capazes de atrasar em 4 dias o processo de amadurecimento de mamão (*Carica papaya*) com a deposição do material formado sobre a casca dos frutos (AHENKORAH *et al.*, 2020). O emprego de fibras de PVA contendo óleo essencial de canela em morangos ampliou em 12 dias a conservação das frutas (WEN *et al.*, 2016). A utilização de fibras de zeína em ácido acético/etanol (30:70) contendo óleo essencial de louro e alecrim promoveram aumento da vida útil de queijos em 21 dias, comparados com o controle experimental (GÖKSEN *et al.*, 2020).

Ressalta-se que quase todos os materiais eletrofiados contendo compostos ativos são obtidos com voltagens acima de 10 kV e prolongam a vida útil dos alimentos em cerca de um terço em comparação com as amostras de controle experimental. Esse incremento de vida útil acontece pela incorporação de compostos bioativos, como extratos naturais, óleos essenciais e polifenóis nas fibras, que são empregadas como estrutura das embalagens e coberturas. Estes compostos são capazes de inibir agentes microbianos deteriorantes e retardam a degradação natural dos alimentos, como o amadurecimento de frutas e a oxidação lipídica de carnes, peixes e derivados lácteos (BARRINGER; SUMONSIRI, 2015; DOYLE *et al.*, 2013).

O SBS é bastante promissor, mas pouco explorado para aplicações em alimentos. A técnica também é capaz de produzir material para embalagens e coberturas, sobretudo as coberturas de aplicação direta em frutas e vegetais. Alguns exemplos estão na produção de fibras com atividade antimicrobiana em associação com cinamaldeídos (LIU *et al.*, 2018), nanopartículas de prata (FERREIRA *et al.*, 2019), nanocelulose bacteriana e carvacrol em associação com gelatina de pele de peixe (MARTÍNEZ-SANZ *et al.*, 2015), desenvolvimento de materiais das embalagens, como fibras de Zeína/Gelatina/Poliuretano com ações antifúngicas (SHEN *et al.*, 2021). As fibras de SBS também são empregadas no desenvolvimento de embalagens inteligentes que indicam alteração de pH (MIRANDA *et al.*, 2020) e como coberturas em frutas (KUMAR; SINHA-RAY, 2018). O controle da morfologia das fibras produzidas por qualquer um dos processos é muito importante para essa aplicação, sendo que fibras lisas são favoráveis para

evitar presença e acúmulo de bactérias, como a *E. coli* e outros agentes microbianos patogênicos, sobretudo na preservação e segurança de alimentos (TENÓ; GONZÁLEZ-GAITANO; GONZÁLEZ-BENITO, 2017).

Tabela 1: Uso de fibras produzidas por *electrospinning* para preservação de alimentos.

Material	Solvente	Composto Adicional ativo	Voltagem	Alimento	Preservação		Referência
					Preservação com as fibras	Preservação controle	
PEO e EC	Etanol	Ácido cítrico	35 kV	Mamão	14 dias	10 dias	(AHENKORAH <i>et al.</i> , 2020)
PVA	Água	Óleo essencial de canela	13-17 kV	Morango	18 dias	6 dias	(WEN <i>et al.</i> , 2016)
Zeína e PLA	Etanol e clorofórmio/DMF	Carvacrol	15 kV	Pão	7 dias	3-4 dias	(ALTAN; AYTAC; UYAR, 2018)
Pululano e Carboximetilcelulose CMC (90:10)	Água Destilada	Polifenóis de chá	19-21 kV	Morango	10 dias	< 10 dias	(SHAO <i>et al.</i> , 2018)
PCL	Clorofórmio e Metanol (50:50 ml)	Extrato de Urtica Dioica	15 kV	Filés de truta	7 dias	6 dias	(ERBAY <i>et al.</i> , 2017)
Pullulano	Etanol	Extrato de batata doce roxa	9 kV	Carne suína de porco	2,5 dias	1,5 dias	(GUO <i>et al.</i> , 2020)
Zeína e Glicerol	Etanol	Carvacrol					
Zeína e Glicerol	Etanol	Resveratrol	14 kV	Maçã	6 horas	< 6 horas	(MARIA LEENA <i>et al.</i> , 2020)
Zeína	Ácido acético/etanol 30:70	Óleo essencial de Louro e Alecrim	18 kV	Queijo	28 dias	7 dias	(GÖKSEN <i>et al.</i> , 2020)
Zeína	Etanol	Óleo de sementes de cinórrodos	14-16 kV	Cunquate e Banana	7 dias	< 7 dias	(YAO <i>et al.</i> , 2016)
PVA	Água	Nanopartículas de prata	15 kV	Morango e limão	10 dias	3 dias	(E <i>et al.</i> , 2019)
PEO	Água	Carboximetil-quitosanaCMQ	20 kV	Morango	9 dias	6 dias	(YUE <i>et al.</i> , 2018)

NOTA: PEO= poli (óxido de etileno); EC= etil acetato de celulose; PLA= poli (ácido láctico); PCL= poli caprolactola; PVA= poli (cloreto de vinila); CMC= carboximetilcelulose; CMQ=carboximetil-quitosana.

DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

As técnicas de fiação de polímeros são alternativas viáveis para a produção de materiais para a aplicação em embalagens ativas e inteligentes, com capacidade de prolongar a vida útil de diversos alimentos. Essas fibras podem ser produzidas por eletrofiação (ES), fiação de solução (SBS) e por *electro-blow-spinning* (EBS) e, apesar de ser uma área em constante expansão, com a ES já consolidada, nota-se o potencial dos processos de SBS e EBS. O SBS pela elevada capacidade de deposição de material, porém em relativa desordem, e o uso de aerógrafo móvel, que poderia viabilizar a aplicação das fibras produzidas diretamente no alimento.

O EBS apresenta vantagens semelhantes, com produção de materiais com elevada ordenação e uniformidade, permitindo, assim, mesmo que ainda seja pouco explorado, a produção comercial de sistemas ativos e inteligentes para embalagens e coberturas de alimentos.

Assim, a produção não sustentável, falta de reciclabilidade ou biodegradabilidade, propriedades mecânicas e de barreira insuficientes ou inadequadas são alguns dos desafios contínuos enfrentados pelas indústrias de alimentos e de embalagens. Outro desafio enfrentado por muitos produtores de alimentos é ampliar uma vida útil adequada para seus produtos, mantendo a qualidade e segurança adequados ao longo de toda a cadeia produtiva e logística existente até o consumidor. Estes problemas são oportunidades para o desenvolvimento de sistemas sustentáveis e mais eficientes para a conservação de alimentos, como as embalagens ativas e inteligentes baseadas nos processos de ES, SBS e EBS.

Como demonstrado ao longo desta revisão, as técnicas de fiação de polímeros são alternativas viáveis para a produção de materiais para a aplicação em embalagens especializadas e coberturas com capacidade comprovada de prolongar a vida útil de diversos alimentos.

Production of electrospinning fibers and their uses in food preservation: a review

ABSTRACT

Food preservation is a constant challenge, and among the different strategies, active and intelligent packaging development stands out. The fibers production for food packaging application focuses on several studies, highlighting the electrospinning (ES) process and its potential in food preservation. The fibers are collected as membranes and used as a constituent part of the packaging and/or coating to preserve fruits, vegetables, and meats. The traditional process requires about 10-20 kV to produce thin, smooth, and homogeneous fibers by an electrohydrodynamic process. However, this is not the only way to get fibers for food preservation and improve process viability. Thus, some changes were successful in the equipment setup, changing the type of collector, which promotes the alignment of the fibers and the fluid supplying system, with free-surface for forming solution release. Furthermore, replacing the high voltage supply with shear forces is possible, which results in the solution blow spinning (SBS) process. It uses a pressured gas to generate shear in the solution and the consequent fibers deposited directly in the collector or the food. In this same context, the electro-blow-spinning (EBS) process merges the two processes (ES and SBS), which can be widely exploited and scalable for food active and intelligent packaging development. Thus, fibers generated by ES, SBS, or EBS allow the development of specialized packaging; among some applications, they can extend, on average, a third of the shelf life of food products.

KEY-WORDS: electrospinning; solution blowspinning; electro-blow-spinning; food packaging; food preservation.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo nº 432181/2018-0, e à Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Edital Nº 270/GR/UFFS/2020, PES-2020-0374, PES-2020-0435, PES-2020-0276, Edital Nº 121/GR/UFFS/2021, PES-2021-0179, Edital Nº 89/GR/UFFS/2022, PES-2022-0293, PES-2022-0160, PES-2022-02158, pelos auxílios financeiros e bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- AHENKORAH, Charles K. *et al.* Moisture-activated release of hexanal from imidazolidine precursor encapsulated in ethylcellulose/poly(ethylene oxide) nonwoven for shelf-life extension of papaya. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 25, n. June, p. 100532, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100532>.
- ALFARO DE PRÁ, Manuel A. *et al.* Effect of collector design on the morphological properties of polycaprolactone electrospun fibers. **Materials Letters**, [s. l.], v. 193, p. 154–157, 2017.
- ALTAN, Aylin; AYTAC, Zeynep; UYAR, Tamer. Carvacrol loaded electrospun fibrous films from zein and poly(lactic acid) for active food packaging. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 81, p. 48–59, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.028>.
- BARRINGER, Sheryl A.; SUMONSIRI, Nutsuda. Electrostatic coating technologies for food processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 6, n. January, p. 157–169, 2015.
- BATISTA, Rubia *et al.* Applications and Oxygen Transfer Models in Active Multilayer Food Packaging: A Theoretical Review. **Journal of Plastic Film and Sheeting**, [s. l.], n. under review, 2021.
- BEHRENS, Adam M. *et al.* In situ deposition of PLGA nanofibers via solution blow spinning. **ACS Macro Letters**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 249–254, 2014.
- BHARDWAJ, Nandana; KUNDU, Subhas C. Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. **Biotechnology Advances**, [s. l.], v. 28, n. 3, p. 325–347, 2010.
- BHARGAVA, Nitya *et al.* **Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2020.
- CASTRO COELHO, Sílvia; NOGUEIRO ESTEVINHO, Berta; ROCHA, Fernando. Encapsulation in food industry with emerging electrohydrodynamic techniques: Electrospinning and electrospraying – A review. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 339, n. December 2019, p. 127850, 2021.

CENA, Cícero R. *et al.* Desenvolvimento de um Sistema Blow-Spinning de baixo custo para obtenção de microfibras e nanofibras poliméricas e compósitas Desarrollo de um sistema Blow-Spinning de bajo costo : colección de microfibras y el polímero nanofibras y compuesta Development o. **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 32–44, 2015.

COSTA, Rodrigo G F *et al.* Eletrofiação de Polímeros em Solução. Fundamentação Teórica. **Polymers**, [s. l.], 2011.

DAI, Ruyan; LIM, Loong Tak. Release of allyl isothiocyanate from mustard seed meal powder entrapped in electrospun PLA-PEO nonwovens. **Food Research International**, [s. l.], v. 77, p. 467–475, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.029>.

DARISTOTLE, John L. *et al.* A Review of the Fundamental Principles and Applications of Solution Blow Spinning. **ACS Applied Materials & Interfaces**, [s. l.], v. 8, n. 51, p. 34951–34963, 2016. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.6b12994>.

DEY, Aishee; NEOGI, Sudarsan. **Oxygen scavengers for food packaging applications: A review**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2019.

DIAS, Gabriel C. *et al.* PVDF nanofibers obtained by solution blow spinning with use of a commercial airbrush. **Journal of Polymer Research**, [s. l.], v. 26, n. 4, 2019.

DIERINGS DE SOUZA, Estefania Júlia *et al.* Polysaccharides as wall material for the encapsulation of essential oils by electrospun technique. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 265, n. December 2020, p. 118068, 2021a.

DIERINGS DE SOUZA, Estefania Júlia *et al.* **Polysaccharides as wall material for the encapsulation of essential oils by electrospun technique**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2021b.

DING, Jianxun *et al.* Electrospun polymer biomaterials. **Progress in Polymer Science**, [s. l.], v. 90, p. 1–34, 2019.

DOYLE, James J. *et al.* Electrospun Nanomaterials: Biotechnology, Food, Water, Environment, and Energy. **Conference Papers in Materials Science**, [s. l.], v. 2013, p. 1–14, 2013a.

DOYLE, James J. *et al.* Electrospun Nanomaterials: Biotechnology, Food, Water, Environment, and Energy. **Conference Papers in Materials Science**, [s. l.], v. 2013, p. 1–14, 2013b.

E, Kowsalya *et al.* Biocompatible silver nanoparticles/poly(vinyl alcohol) electrospun nanofibers for potential antimicrobial food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 21, n. July, p. 100379, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100379>.

ERBAY, Esen Alp *et al.* Quality improvement of rainbow trout fillets by whey protein isolate coatings containing electrospun poly(ϵ -caprolactone) nanofibers with *Urtica dioica* L. extract during storage. **Lwt**, [s. l.], v. 78, p. 340–351, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.002>.

FERREIRA, Thiago P.M. *et al.* Antimicrobial coatings based on poly(dimethyl siloxane) and silver nanoparticles by solution blow spraying. **Progress in Organic Coatings**, [s. l.], v. 133, n. February, p. 19–26, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.04.032>.

GÖKSEN, Gülden *et al.* Phytochemical-loaded electrospun nanofibers as novel active edible films: Characterization and antibacterial efficiency in cheese slices. **Food Control**, [s. l.], v. 112, n. November 2019, 2020.

GUO, Min *et al.* Intelligent double-layer fiber mats with high colorimetric response sensitivity for food freshness monitoring and preservation. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 101, n. June 2019, p. 105468, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105468>.

HAIDER, Sajjad *et al.* Highly aligned narrow diameter chitosan electrospun nanofibers. **Journal of Polymer Research**, [s. l.], v. 20, n. 4, 2013.

HELL, Alessandra Forgatti *et al.* Production of fibrous polymer scaffolds for tissue engineering using an automated solution blow spinning system. **Research on Biomedical Engineering**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 273–278, 2018.

HUANG, Zheng Ming *et al.* A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. **Composites Science and Technology**, [s. l.], v. 63, n. 15, p. 2223–2253, 2003.

JU, Jingge *et al.* Preparation of poly (tetrafluoroethylene) nanofiber film by electro-blown spinning method. **Materials Letters**, [s. l.], v. 171, p. 236–239, 2016.

KUMAR, Ashish; SINHA-RAY, Sumit. A review on biopolymer-based fibers via electrospinning and solution blowing and their applications. **Fibers**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 1–53, 2018.

LI, Lei *et al.* A comparative study of alumina fibers prepared by electro-blown spinning (EBS) and solution blowing spinning (SBS). **Materials Letters**, [s. l.], v. 160, p. 533–536, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2015.08.016>.

LIM, Loong-Tak. **Electrospinning and electro spraying technologies for food and packaging applications**. [S. l.]: Elsevier Ltd., 2021. *E-book*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-819611-3.00007-8>.

LIM, Loong Tak; MENDES, Ana C.; CHRONAKIS, Ioannis S. Electrospinning and electro spraying technologies for food applications. **Advances in Food and Nutrition Research**, [s. l.], v. 88, p. 167–234, 2019.

LIN, Zhuangsheng; DECKER, Eric A.; GODDARD, Julie M. Preparation of metal chelating active packaging materials by laminated photografting. **Journal of Coatings Technology and Research**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 395–404, 2016.

LIN, Zhuangsheng; GODDARD, Julie M. Photocurable coatings prepared by emulsion polymerization present chelating properties. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, [s. l.], v. 172, p. 143–151, 2018.

LIU, Fei *et al.* Antimicrobial Carvacrol in Solution Blow-Spun Fish-Skin Gelatin Nanofibers. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 83, n. 4, p. 984–991, 2018.

LÓPEZ-RUBIO, Amparo *et al.* Electrospinning as a useful technique for the encapsulation of living bifidobacteria in food hydrocolloids. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 159–167, 2012.

LUONG-VAN, Emma *et al.* Controlled release of heparin from poly(ϵ -caprolactone) electrospun fibers. **Biomaterials**, [s. l.], v. 27, n. 9, p. 2042–2050, 2006.

LV, Ju *et al.* Superhydrophobic PCL/PS composite nanofibrous membranes prepared through solution blow spinning with an airbrush for oil adsorption. **Polymer Engineering and Science**, [s. l.], v. 59, p. E171–E181, 2019.

MAHMUD, Md Musavvir *et al.* Controlled release of curcumin from electrospun fiber mats with antibacterial activity. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, [s. l.], v. 55, 2020.

MARIA LEENA, M. *et al.* Edible coating with resveratrol loaded electrospun zein nanofibers with enhanced bioaccessibility. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 36, n. October 2019, p. 100669, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100669>.

MARTÍNEZ-SANZ, Marta *et al.* Antimicrobial poly(lactic acid)-based nanofibres developed by solution blow spinning. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 616–627, 2015.

MEDEIROS, Eliton S. *et al.* Solution blow spinning: A new method to produce micro- and nanofibers from polymer solutions. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 116, n. 4, p. 2322–2330, 2009.

MENDES, Ana C.; CHRONAKIS, Ioannis S. Electrohydrodynamic encapsulation of probiotics: A review. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 117, n. December 2020, 2021a.

MENDES, Ana C.; CHRONAKIS, Ioannis S. Electrohydrodynamic encapsulation of probiotics: A review. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 117, n. December 2020, 2021b.

MERCANTE, Luiza A. *et al.* Nanofibras eletrofiadas e suas aplicações: Avanços na última década. **Química Nova**, [s. l.], v. 44, n. 6, p. 717–736, 2021.

MIHINDUKULASURIYA, S. D.F.; LIM, L. T. Nanotechnology development in food packaging: A review. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 149–167, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.009>.

MIRANDA, Kelvi W.E. *et al.* Halochromic polystyrene nanofibers obtained by solution blow spinning for wine pH sensing. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 1–16, 2020.

NIAMAH, Alaa Kareem *et al.* Electro-hydrodynamic processing for encapsulation of probiotics: A review on recent trends, technological development, challenges and future prospect. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 44, p. 101458, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212429221005836>.

NIKNEJAD, Ali Sallakh *et al.* Styrene-acrylonitrile (SAN) nanofibrous membranes with unique properties for desalination by direct contact membrane distillation (DCMD) process. **Desalination**, [s. l.], v. 488, n. May, p. 114502, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114502>.

OLIVEIRA, Juliano 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**, [s. l.], v. 122, n. 5, p. 3396–3405, 2011. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.34410>.

OLIVEIRA, Juliano 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**, [s. l.], v. 2013, 2013.

PERSANO, Luana *et al.* Industrial upscaling of electrospinning and applications of polymer nanofibers: A review. **Macromolecular Materials and Engineering**, [s. l.], v. 298, n. 5, p. 504–520, 2013.

PERTICI, Vincent *et al.* Synthetic Polymer-based Electrospun Fibers: Biofunctionalization Strategies and Recent Advances in Tissue Engineering, Drug Delivery and Diagnostics. **Current Medicinal Chemistry**, [s. l.], v. 25, n. 20, p. 2385–2400, 2018.

PRIYADARSHI, Ruchir; EZATI, Parya; RHIM, Jong-Whan. Recent Advances in Intelligent Food Packaging Applications Using Natural Food Colorants. **ACS Food Science & Technology**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 124–138, 2021.

SENTHIL MUTHU KUMAR, T. *et al.* A comprehensive review of electrospun nanofibers: Food and packaging perspective. **Composites Part B: Engineering**, [s. l.], v. 175, n. July, p. 107074, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107074>.

SHAO, Ping *et al.* Fabrication and characterization of tea polyphenols loaded pullulan-CMC electrospun nanofiber for fruit preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 107, p. 1908–1914, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.054>.

SHEN, Chaoyi *et al.* Application of solution blow spinning to rapidly fabricate natamycin-loaded gelatin/zein/polyurethane antimicrobial nanofibers for food packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], v. 29, 2021.

SHI, Zhijie *et al.* A comparative study of poly(tetrafluoroethylene) ultrafine fibrous porous membranes prepared by electrospinning, solution blowing spinning, and electroblown spinning. **Chemistry Letters**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 131–134, 2017.

SIMBARA, Marcia M.O. *et al.* Comparative study of aligned and nonaligned poly(ϵ -caprolactone) fibrous scaffolds prepared by solution blow spinning. **Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials**, [s. l.], v. 107, n. 5, p. 1462–1470, 2019.

SOW, Pradeep Kumar; ISHITA; SINGHAL, Richa. Sustainable approach to recycle waste polystyrene to high-value submicron fibers using solution blow spinning and application towards oil-water separation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 2, 2020.

TAYLOR, Publisher. Active and intelligent packaging : applications and regulatory aspects Active and intelligent packaging : applications and. **Food Additives and Contaminants**, [s. l.], v. 19, n. February 2013, p. 37–41, 2010.

TENO, Jorge; 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**, [s. l.], v. 60, p. 140–148, 2017.

TEO, W. E.; RAMAKRISHNA, S. A review on electrospinning design and nanofibre assemblies. **Nanotechnology**, [s. l.], v. 17, n. 14, 2006.

UM, In Chul *et al.* Electro-Spinning and Electro-Blowing of Hyaluronic Acid. [s. l.], p. 1428–1436, 2004.

VASIREDDI, Ramakrishna *et al.* Solution blow spinning of polymer/nanocomposite micro-/nanofibers with tunable diameters and morphologies using a gas dynamic virtual nozzle. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1–10, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-50477-6>.

WANG, Bin *et al.* Antibacterial activity, optical, and functional properties of corn starch-based films impregnated with bamboo leaf volatile oil. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 357, 2021.

WANG, Xuefen *et al.* Formation of water-resistant hyaluronic acid nanofibers by blowing-assisted electro-spinning and non-toxic post treatments. **Polymer**, [s. l.], v. 46, n. 13, p. 4853–4867, 2005.

WEN, Peng *et al.* Encapsulation of cinnamon essential oil in electrospun nanofibrous film for active food packaging. **Food Control**, [s. l.], v. 59, p. 366–376, 2016.

YAO, Zhi Cheng *et al.* Encapsulation of rose hip seed oil into fibrous zein films for ambient and on demand food preservation via coaxial electrospinning. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 191, p. 115–123, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.07.012>.

YILDIRIM, Selçuk *et al.* **Active Packaging Applications for Food**. [S. l.]: Blackwell Publishing Inc., 2018.

YU, Miao *et al.* **Recent Advances in Needleless Electrospinning of Ultrathin Fibers: From Academia to Industrial Production**. [S. l.]: Wiley-VCH Verlag, 2017.

YUE, Tian Tian *et al.* Electrospinning of Carboxymethyl Chitosan/Polyoxyethylene Oxide Nanofibers for Fruit Fresh-Keeping. **Nanoscale Research Letters**, [s. l.], v. 13, 2018.

ZHANG, Cen *et al.* Electrospinning of nanofibers: Potentials and perspectives for active food packaging. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 479–502, 2020.

ZHANG, Xiaohui *et al.* Nanofibrous polystyrene membranes prepared through solution blow spinning with an airbrush and the facile application in oil recovery. **Applied Physics A: Materials Science and Processing**, [s. l.], v. 124, n. 5, 2018.

ZHANG, Yingying *et al.* Stable multi-jet electrospinning with high throughput using the bead structure nozzle. **RSC Advances**, [s. l.], v. 8, n. 11, p. 6069–6074, 2018.

ZHOU, Xing hai *et al.* The preparation of continuous CeO₂/CuO/Al₂O₃ ultrafine fibers by electro-blowing spinning (EBS) and its photocatalytic activity. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, [s. l.], v. 28, n. 17, p. 12580–12590, 2017.

Recebido: 08 dez. 2021.

Aprovado: 08 jul. 2022.

DOI: 10.3895/rebrapa.v13n1.15012

Como citar:

SOARES, L. M. L. L., et al. Produção de fibras eletrofiadas e seus usos na preservação de alimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 13 n. 1, p. 32-50, jan./mar. 2022.

Disponível em: <https://periodicos.ufpr.edu.br/rebrapa>

Correspondência:

Vânia Zanella Pinto

Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Laranjeiras do Sul, BR-158, s/n - Zona Rural, CEP 85301-970, Laranjeiras do Sul, Paraná, Brasil.

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

