

## DESENVOLVIMENTO EMBALAGENS ATIVAS PARA ALIMENTOS POR ELETROFIAÇÃO

LAURA MARIANA LEAL LOPES SOARES<sup>1,2\*</sup>, SAMUEL LOPES OLIVEIRA<sup>2,3</sup>, VANIA ZANELLA PINTO<sup>2,4</sup>

### 1 Introdução

O método de eletrofiação é usado para produzir fibras em escala nano- a submicro-métrica. Estas fibras possuem grandes versatilidade, e podem ser usadas na engenharia de tecidos, vestuário, geração de energia e em diferentes processos químicos de grau alimentício (SOARES *et al.*, 2023).

O sistema é formado por três componentes principais sendo eles: uma bomba infusora, que bombeia uma solução por um capilar ligado à uma fonte de alta voltagem (5-40Kv) e um coletor aterrado. A diferença de potencial elétrico entre o capilar e o coletor faz com que a solução seja atraída para o coletor e o solvente evapore. A técnica permite o uso de diferentes materiais como polímeros proteicos, polissacarídeos e não-poliméricos, moléculas de baixo peso molecular como os fosfolipídeos. Estes materiais precisam de solvente apropriado para serem solubilizados seguidos de volatilização do solvente durante a eletrofiação. Além disso, a associação de materiais distintos pode ser utilizada para combinar as suas características químicas e a incorporação de substâncias bioativas para liberação controlada pelas fibras (LIM, 2021) Um dos materiais usualmente utilizados na produção de fibras eletrofiadas é o poli(ácido láctico) (PLA), bastante difundido em diferentes processos de fabricação como extrusão e injeção de forma isolada ou em associação com outros componentes poliméricos ou não poliméricos (NATARAJAN *et al.*, 2014; XU *et al.*, 2009)

A lecitina é uma mistura de fosfolipídeos e lipídeos neutros, tida como surfactante natural, coproduto do processamento de óleos vegetais como soja, girassol e milho. Ela possui baixo peso molecular, sendo um material não-polimérico que vem sendo estudado na produção de fibras por eletrofiação. Na eletrofiação, soluções de baixa concentração geram spray, ou

<sup>1</sup>Graduando(a) no curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Laranjeiras do Sul - PR, contato: [lauramariana2992@gmail.com](mailto:lauramariana2992@gmail.com)

<sup>2</sup>Grupo de Pesquisa: Produção, transformação e armazenamento de alimentos

<sup>3</sup>Graduando(a) no curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Laranjeiras do Sul - PR

<sup>4</sup>Doutora, Universidade Federal da Fronteira Sul, **Orientadora.**

partículas arredondadas que à medida que se aumenta a concentração, tendem a se alongar e formar fibras. No caso de fosfolipídios, a formação de fibras ocorre quando a solução supera a concentração micelar crítica, que promove um emaranhamento das moléculas e elas passam a se comportar de forma semelhante às cadeias poliméricas (MEZZASALMA; KOPER; SHCHIPUNOV, 2000; ZAHRAN *et al.*, 2020). Esta concentração é dependente do tipo de solvente utilizado, bem como a estrutura química dos materiais utilizados.

Neste contexto, também são empregadas misturas (blends) de polímeros, polímeros e não-polímeros, com o intuito de promover melhor formação de fibras e diferentes aplicações destes materiais (LIM, 2021; NIAMAH *et al.*, 2021).

## 2 Objetivos

Avaliar a capacidade de formação de fibras a partir da mistura do polímero poli (ácido láctico) (PLA) e do não-polímero lecitina (LEC).

## 3 Metodologia

### 3.1 Materiais

Uma mistura de clorofórmio e dimetilformida (DMF) na proporção 4:1 (v/v) foi utilizado para dissolver os blends de PLA e LEC. A resina de PLA (6201 D) e a lecitina de girassol (Marca Now, aproximadamente 76,3% de pureza) foram utilizados no experimento.

### 3.2 Análise preliminar de concentração e preparo das soluções formadoras de fibras

Inicialmente, foram preparadas três soluções em diferentes concentrações (25, 30 e 35% m/v) de PLA e LEC, na proporção 1:1 (50:50, m/m) dispersas no solvente clorofórmio:DMF (4:1, v/v) para analisar qual concentração teria melhor capacidade de formação de fibras por eletrofição.

**Tabela 1:** Proporção de Lecitina (LEC) e Poli(ácido láctico) (PLA) em 25% de sólidos

Tratamento	LEC	PLA
1	100%	0%
2	75%	25%
3	50%	50%
4	25%	75%
5	0%	100%

Com o melhor resultado da análise preliminar, foi obtido uma solução com proporção de 25% (m/v) de sólidos para o estudo de diferentes proporções entre PLA e LEC (Tabela 1). Após o preparo, a condutividade elétrica das soluções foi analisada em condutivímetro (CG

1800, Gehaka Ltda) e os resultados expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

### 3.3 Formação de fibras por eletrofição

Todas as fibras foram produzidas por eletrofição com parâmetros previamente otimizados, sendo a distância entre a ponta da agulha e o coletor de 10cm, a tensão de 10kV e vazão da solução de  $1\text{mL}\cdot\text{h}^{-1}$ . A umidade relativa e temperatura do ambiente foram mantidas entre 63 e 65% e 23 e 25°C, respectivamente.

### 3.6 Análise das fibras

A formação das fibras e as suas morfologias foram avaliadas com auxílio de um microscópio ótico com câmera acoplada modelo USB DI-5.0HD Digilab Laboratório.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Condutividade elétrica das soluções

Em relação a condutividade, os resultados mostraram que o aumento de sólidos contribuiu para a diminuição da condutividade elétrica da solução. A condutividade elétrica das soluções com diferentes proporções de PLA e LEC estão descritas na Figura 1. As maiores proporções de PLA resultaram em condutividade elétrica superior.

As propriedades da solução, especialmente a condutividade elétrica, a viscosidade e a tensão superficial são determinantes para que o processo de eletrofição resulte na formação de fibras. Acima de uma tensão crítica, o acúmulo de cargas eletrostáticas, a repulsão das cargas eletrostáticas supera a tensão superficial da solução e forma um jato alongado que será atraído em direção do coletor aterrado. Neste contexto, soluções altamente condutoras farão com que a carga superficial seja transferida mais rapidamente a solução depois da saída do capilar e, reduzam a densidade de carga superficial e a força eletrostática necessária para iniciar a formação do jato (LIM, 2021). Análises de condutividade em soluções formadoras de fibras indicam que maiores condutividades permitem a formação de fibras com menores concentrações (TOPUZ; SATILMIS; UYAR, 2019), como que foi encontrado no trabalho.

**Tabela 2:** Resultados de condutividade

% de sólidos	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
25%	1,80
30%	1,42
35%	1,25

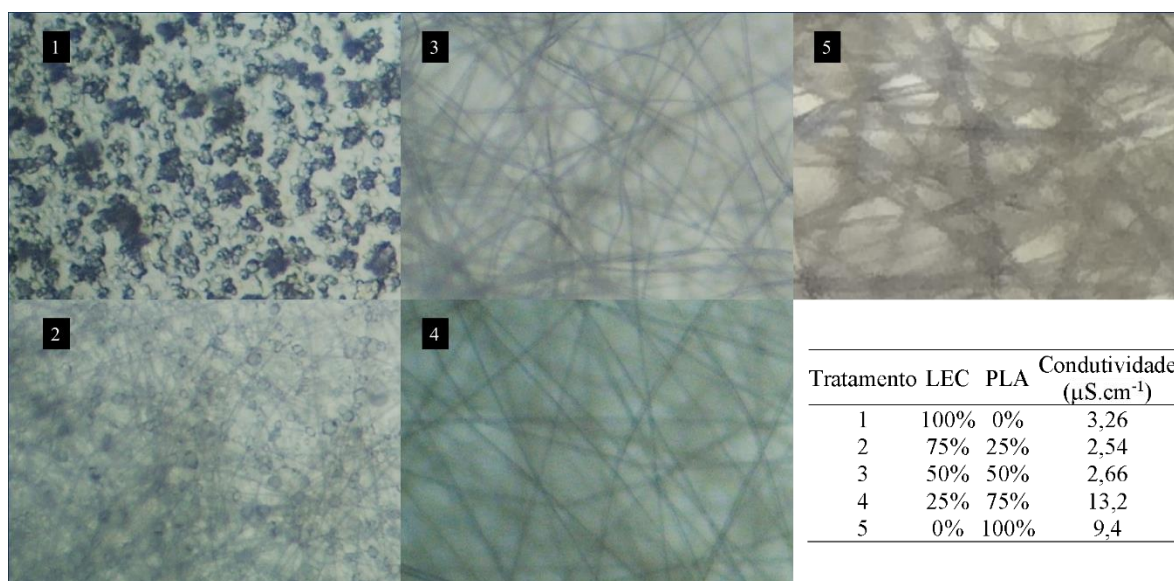
### 4.2 Análise das fibras eletrofiadas.

Todas as concentrações de sólidos totais da solução de PLA e LEC resultaram em fibras.

As elaboradas com 25% de sólidos foram homogêneas sem a presença de aglomerados poliméricos na saída do capilar. Além disso, houve facilidade de formação, boa homogeneidade das fibras depositadas no coletor e, durante o mesmo período do processo de eletrofiação, cobriu um raio maior do coletor utilizado. Ainda, as fibras produzidas com 30% e 35% de sólidos também resultaram em fibras homogêneas, porém com presença de aglomerados na saída do capilar e conseqüente desprendimento dos mesmos e acúmulo no coletor.

Dessa forma, foram elaboradas soluções de 25% (m/v) de sólidos, com diferentes proporções entre PLA e LEC para a produção de fibras por eletrofiação (Figura 1). A LEC dissolvida em clorofórmio:DFM (4:1) (tratamento 1) não foi capaz de produzir fibras, resultando na formação de partículas com a tamanhos variados. A lecitina é um não-polímero e a concentração de 25% (m/v) não é suficiente para este material formar fibras sem a mistura com um polímero. A adição de 25% de PLA à solução de LEC (tratamento 2) promoveu a formação de fibras, porém estas não foram homogêneas e com a presença de bolhas ao longo do comprimento das fibras. As demais proporções de PLA:LEC se mostram estáveis, com pouca presença de bolhas no seu comprimento e sem as estruturas residuais de lecitina na saída do capilar. A solução de PLA (Tratamento 5) também resultou na formação de fibras homogêneas e uniformes (Figura 1) sem a formação de aglomerados na saída do capilar.

**Figura 1:** Fibras produzidas com PEO e LEC



A concentração de emaranhamento obtida foi menor do que os 35% relatados por Mackee e colaboradores (MCKEE *et al.*, 2006), a diferença pode ser associada a diferentes



proporções de solventes utilizados. Outros autores relataram a formação de fibras em faixas de 20-40% (m/v) de lecitina em associação com polivinilpirrolidona dissolvido também com clorofórmio e DMF, próximo do que foi encontrado no presente estudo (ZAHKAN *et al.*, 2020).

## 5 Conclusão

Com os dados obtidos, é possível perceber que a Lecitina é capaz de substituir em até 50% componentes poliméricos, permitindo a formação de fibras a partir de co-produto da extração e purificação de óleos vegetais. Ainda, há necessidade de novas investigações para avaliar potenciais usos destas fibras, além de seu potencial para serem utilizados na indústria de alimentos.

## Referências Bibliográficas

- 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>.
- MCKEE, Matthew G. *et al.* Phospholipid nonwoven electrospun membranes. **Science**, [s. l.], v. 311, n. 5759, p. 353–355, 2006.
- MEZZASALMA, S. A.; KOPER, G. J.M.; SHCHIPUNOV, Yu A. Lecithin organogel as a binary blend of monodisperse polymer-like micelles. **Langmuir**, [s. l.], v. 16, n. 26, p. 10564–10565, 2000.
- NATARAJAN, Lakshmi *et al.* Surface morphology of electrospun PLA fibers: Mechanisms of pore formation. **RSC Advances**, [s. l.], v. 4, n. 83, p. 44082–44088, 2014.
- 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>.
- SOARES, Laura Mariana Leal Lopes *et al.* Produção de fibras eletrofiadas e seus usos na preservação de alimentos: uma revisão RESUMO. **Brazilian Journal of Food Research**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 32–50, 2023.
- TOPUZ, Fuat; SATILMIS, Bekir; UYAR, Tamer. Electrospinning of uniform nanofibers of Polymers of Intrinsic Microporosity (PIM-1): The influence of solution conductivity and relative humidity. **Polymer**, [s. l.], v. 178, 2019.
- XU, Jia *et al.* Preparation of chitosan/PLA blend micro/nanofibers by electrospinning. **Materials Letters**, [s. l.], v. 63, n. 8, p. 658–660, 2009.
- ZAHKAN, Shima M.E. *et al.* Fabrication of nanofiltration membrane based on non-biofouling PVP/lecithin nanofibers reinforced with microcrystalline cellulose via needle and needle-less electrospinning techniques. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 157, p. 530–543, 2020.

**Palavras-chave:** *Electrospinning*, poli(ácido láctico), lecitina, condutividade elétrica

**Nº de Registro no sistema Prisma:** PES-2022-0185

**Financiamento:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq