

Inovação nanotecnológica em embalagens bioativas para alimentos perecíveis – uma revisão

Nanotechnological innovation in bioactive packaging for perishable foods – a review

Lilian Raquel Moretto Ferreira¹, Ligia Chitolina, Indianara Cristina Dias, Creciana Maria Endres, Marcia Adriana Tomaz Duarte.

¹Centro Universitário SENAI/SC

*Correspondente: lilian.ferreira@edu.sc.senai.br

Resumo

Este trabalho traz uma revisão sobre o emprego da nanotecnologia nas embalagens primárias dos alimentos cárneos refrigerados por meio da eletrofiação de polímeros biodegradáveis com incorporação de óleo essencial. A principal matéria prima para a produção de embalagens vem de fontes não renováveis, como o petróleo, porém os polímeros sintéticos provenientes dessa matéria-prima geram um grande volume de resíduos sólidos. Assim, torna-se fundamental a busca por novas alternativas para suprir o mercado de embalagens e desempenhar um papel de menor impacto ambiental e ecológico. Os últimos dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura corroboram com essa problemática, apontando que 127 milhões de toneladas de alimentos são jogadas fora por ano na América Latina e muitos alimentos são desperdiçados por não estarem embalados adequadamente e, conseqüentemente, sem a garantia de condições para um armazenamento e transporte seguros. Para contribuir com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) até 2030, deve-se reduzir pela metade as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento. Assim, o desenvolvimento da indústria nacional de embalagens para alimentos perecíveis está em discussão e motiva o empreendedorismo, pois utiliza uma quantidade significativa de embalagens. Além disso, cada vez mais, espera-se encontrar alternativas sustentáveis nas linhas produtivas, a fim de reduzir os impactos ambientais e proporcionar ganhos para os produtos perecíveis que são embalados. Porém, é necessário que novos estudos apresentem as tecnologias que podem ser utilizadas, bem como os resultados e limitações da sua aplicação. Esses dados poderão contribuir para a produção e escalabilidade dessas embalagens em ambientes industriais.

Palavras-chave: embalagens bioativas; alimentos; eugenol; eletrofiação; óleos essenciais; nanopartículas.

Abstract

This paper reviews the use of nanotechnology in primary packaging of chilled meat products through the electrospinning of biodegradable polymers with incorporation of essential oil. The main raw material for the production of packaging comes from non-renewable sources, such as oil, however, synthetic polymers from this raw material generate a large volume of solid waste. Thus, the search for new alternatives to supply the packaging market and play a role with less environmental and ecological impact becomes crucial. The latest data from the Food and Agriculture Organization of the United Nations corroborate this problem, pointing out that 127 million tons of food are thrown away per year in Latin America and a lot of food is wasted because it is not properly packaged, hence without guaranteed conditions for safe storage and transport. To contribute to the Sustainable Development Goals (SDGs) by 2030, food losses along production and supply chains must be halved. Therefore, the development of the national packaging industry for perishable foods is under discussion and motivates entrepreneurship, as it uses a significant amount of packaging. Moreover, sustainable alternatives are increasingly expected to be found for production lines in order to reduce environmental impacts and add enhancements to perishable products that are packaged. However, new studies are needed to bring about technologies that can be used in this regard, substantiated by results and limitations of their application. Such data may contribute to the production and scalability of these packages in industrial environments.

Keywords: bioactive packaging; food; eugenol; electrospinning; essential oils; nanoparticles.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos tem aumentado em função do aumento da população e da forma de consumo da sociedade moderna, o que implica também no aumento de resíduos plásticos provenientes das embalagens (RUVIARO *et al.*, 2020). Um estudo encomendado pelo Plano de Incentivo à Cadeia do Plástico (PICPlast) apontou que, em 2020, apenas 23,1% dos resíduos plásticos pós-consumo foram reciclados no Brasil, sendo, portanto, a maior parte composta por resíduos não biodegradáveis e que permanecem no nosso planeta por longos anos, comprometendo a saúde humana e o meio ambiente.

A maior parte desses resíduos é proveniente de materiais de embalagem de alimentos comerciais tradicionais de origem à base de petróleo, como polietileno (PE), polipropileno (PP) e poliestireno (PS). Os pesquisadores estimam que 31,9 milhões de toneladas de resíduos plásticos entram no meio ambiente todos os anos, com 4,8-12,7 milhões de toneladas indo para os oceanos em quantidades suficientes para contaminar os ecossistemas terrestres (KAWECKI *et al.*, 2019). Ainda assim, espera-se que a demanda por plásticos continue a crescer no futuro para permitir produtos com eficiência de recursos necessários à sociedade.

No entanto, uma das tendências que têm se estabelecido diz respeito ao desenvolvimento de produtos reciclados e matérias-primas renováveis que se utilizem de processos movidos por energia renovável, na tentativa de estabelecer um sistema eficiente de economia circular. De acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e a estratégia de plástico sustentável, torna-se necessária uma mudança na indústria global de plásticos, substituindo um sistema de manufatura baseado predominantemente em combustíveis fósseis para alternativas sustentáveis e acessíveis (LAVRIČ *et al.*, 2021).

Atualmente, a maior parte das embalagens utilizadas no setor alimentício é de plástico, devido a suas funções clássicas de conter, proteger e vender o produto ali acondicionado. A função de proteção envolve preservar ao máximo a qualidade do produto, criando condições que minimizem alterações químicas, bioquímicas e microbiológicas que causam a degradação. As embalagens tradicionais necessitam de melhorias para estender a vida de prateleira (*shelf life*) dos produtos alimentícios e atender à crescente demanda dos consumidores por produtos seguros, saudáveis, mais próximos ao natural e com menos conservantes (SOARES *et al.*, 2009).

Estima-se que a produção anual de plástico seja de 200 milhões de toneladas em todo o mundo, derivados do petróleo e não são biodegradáveis, apresentando um enorme problema ambiental (COSTA, 2011). A fim de reduzir os impactos ambientais decorrentes do acúmulo de plástico de polímeros sintéticos, pesquisas estão em desenvolvimento para a produção de embalagens oriundas de polímeros a partir de fontes renováveis e que se degradem com o tempo, através de mecanismos naturais.

Os plásticos empregados nas embalagens representam uma parte essencial no processamento dos produtos, e outra situação relacionada é o desperdício de alimentos na etapa de consumo por conta das embalagens que, muitas vezes, não cumprem a sua função de armazenar e proteger o produto contra os fatores extrínsecos, como luz, umidade, ar, agentes microbianos e outros que possam interferir e prejudicar a sua qualidade. Porém, a garantia de transporte seguro, acondicionamento adequado e conveniência para o consumidor é primordial para o exigente mercado. Dessa forma, cada vez mais, os produtos que apresentam benefícios e conveniências tanto para a indústria quanto para os consumidores finais são os que recebem mais destaque (YAM; TAKHISTOV; MILTZ, 2005).

Nesse contexto, as embalagens bioativas apresentam grande crescimento e destaque, com tecnologias que podem reduzir ou até eliminar problemas relacionados à deterioração e contaminação dos alimentos, como o crescimento de microrganismos ou alterações químicas causadas pela oxidação, e consequentemente aumentar a *shelf life* desses produtos (MIHINDUKULASURIYA; LIM, 2014; OTONI *et al.*, 2016), apresentando também comportamento biodegradável e sustentável. O conceito de embalagem bioativa traz tecnologias nas quais o material da embalagem biodegradável interage com os alimentos, visando a benefícios e apresentando papel ativo no combate a agentes deletérios (OTONI *et al.*, 2016). Entre as aplicações e finalidades das embalagens bioativas, estão aquelas com atividade antimicrobiana, que inibem ou retardam o crescimento de microrganismos (fungos, bactérias e vírus) contribuindo para a preservação da qualidade e *shelf life* do alimento. As propriedades antimicrobianas da maioria dos materiais de embalagens primárias estão baseadas na migração de substâncias ativas da embalagem para o alimento, exercendo, então, a sua ação (NERIN *et al.*, 2016).

Um problema recentemente posto à tona pela indústria é a grande resistência a antibióticos ou antimicrobianos que microrganismos estão adquirindo com o uso comum desses agentes (LIU *et al.*, 2015). Com isso, vem a importância da descoberta e utilização de novos agentes antimicrobianos de origem natural, como os óleos essenciais combinados com nanopartículas metálicas – uma questão destacada não só na área médica, mas em todas as áreas, incluindo a de alimentos. A ação antimicrobiana dos óleos essenciais e nano-

partículas de zinco é comprovada em vários trabalhos científicos quanto à inibição dos seguintes microrganismos: *Escherichia Coli*, *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes*, *Listeria innocua*, *Penicillium toqueforti*, *Aspergillus flavus*, *Endomyces fibuliger* e *Pseudomonas putida* (SU CHA *et al.*, 2002; KECHICHIAN, 2007; SOARES *et al.*, 2009; ZHANG, 2017). As embalagens antimicrobianas retardam ou até inativam o crescimento microbiano, contribuindo também para reduzir os níveis de conservantes sintéticos aplicados nos alimentos. E, nesse panorama, os óleos essenciais e nanopartículas como substâncias ativas representam uma alternativa eficiente e segura para a composição das embalagens bioativas, pois são empregadas em escala nanométrica, possibilitando embalagens biodegradáveis que aumentam o *shelf life* de alimentos, capazes também de reduzir o impacto ambiental total, principalmente para produtos com perdas elevadas, como é o caso dos perecíveis.

2. METODOLOGIA

Para abordar a inovação nanotecnológica aplicada a um produto comercial, foram realizadas buscas em bases de dados disponíveis na internet, compreendendo o período dos últimos três anos, ou seja, de 2019 a 2022. Esta revisão bibliométrica utilizou bases de dados distintas com relação ao tipo de publicação, sendo uma de patentes e a outra com publicações acadêmicas. Os termos de busca e as respectivas bases de dados estão descritos na Tabela 1. Os resultados representados pelo número de publicações encontradas possibilitam apontar tendências na temática.

Tabela 1 - Quantidade de publicações no período 2019-2022

TERMO PESQUISADO	GOOGLE SCHOLAR	GOOGLE PATENTS
Eletrospinning	44.100	28.355
Bioactive packaging	21.500	35.563
Embalagens bioativas	4.130	141
Eletrofiação	686	31
Eletrofiação de embalagens bioativas	129	3
Eletrofiação embalagens bioativas óleo essencial eugenol	25	1
Bioactive packaging by eletrospinnig	279	0
Electrospun nanofibers food packaging	17.000	300
Electrospun nanofibers food packaging essential oil eugenol	1.310	7

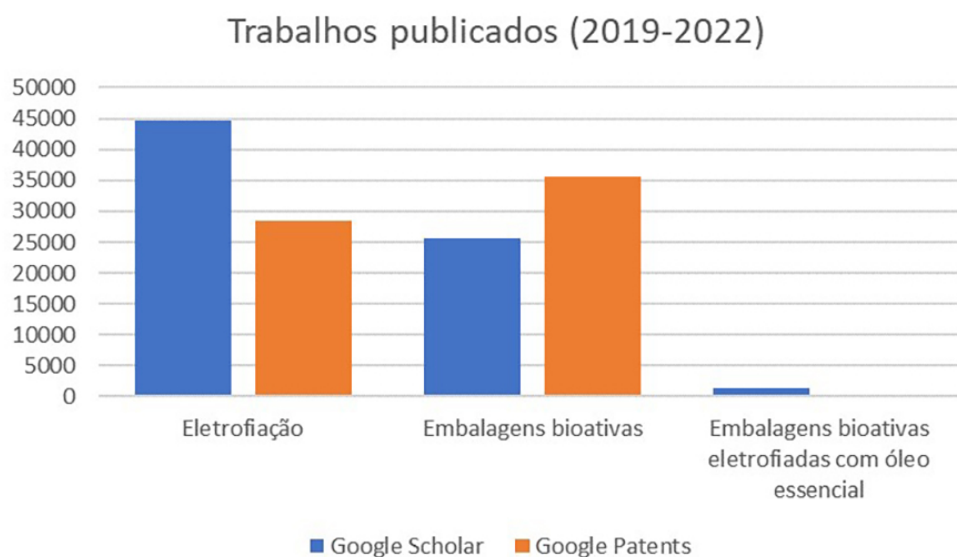
Fonte: Das autoras (2022)

A partir da base de dados Google Scholar, que dispõe de artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, resumos, periódicos de universidades e livros, observa-se que quando a busca é realizada no idioma inglês, tem-se 44.100 trabalhos contra 686 trabalhos no idioma português. Outro dado relevante é sobre a aplicação da nanotecnologia da eletrofiação para as embalagens bioativas, em que se observa que, dos 44.786 trabalhos que tratam da técnica de eletrofiação, apenas 17.279 (38%) são destinados a essa aplicação tecnológica e 1.310 (3%) trabalhos apresentam resultados para o emprego de óleos essenciais, especificamente o componente bioativo eugenol, diretamente no material da embalagem.

Na base de dados Google Patents, buscou-se por patentes concedidas, considerando, nesse caso, que houve a comprovação da

invenção da tecnologia a partir de um novo produto ou um novo processo. Essa busca é fundamental quando se trata de inovação, pois resguarda os direitos mercadológicos da parte interessada no caso de melhorias no uso ou fabricação das embalagens. Dessa forma, observa-se que, quando se realiza a busca por embalagens bioativas nos termos em inglês e português, a quantidade de publicações no Google Patents é de 35.704, sendo esse número superior à quantidade de publicações no Google Scholar, que é 25.630, demonstrando o interesse preferencial dos autores desse conteúdo em realizar o registro da patente. O mesmo comportamento não se observa quando o termo da busca se refere à técnica de eletrofiação, em que se obtém 44.786 resultados no Google Scholar e 28.386 resultados no Google Patents. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 1.

Imagem 01 - Gráfico comparativo dos resultados quantitativos obtidos para a pesquisa realizada nas bases de dados distintas



Fonte: Das autoras (2022)

Refinando a busca para o tema específico da eletrofição de embalagens bioativas utilizando no processo de obtenção das embalagens o óleo essencial (composto eugenol), obtém-se como resultado um número expressivo de trabalhos no Google Scholar, 1335, contrastando com um número modesto e igual a 8 trabalhos no Google Patents, o que demonstra que a grande maioria dos trabalhos a serem revisados nesta temática encontra-se nas bases de dados acadêmicas.

A partir desta análise quantitativa nas bases de dados, foram selecionados alguns trabalhos que possibilitaram apresentar algumas evidências acerca da inovação tecnológica que motiva o empreendedorismo na área de embalagens bioativas. Esses trabalhos selecionados, juntamente com outros publicados em períodos distintos, compõem a revisão que será apresentada a seguir.

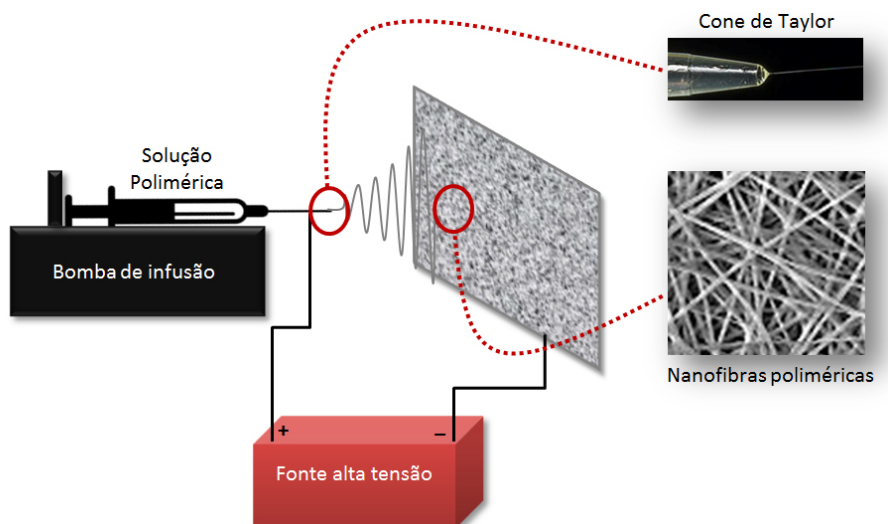
3. A TECNOLOGIA DA ELETROFIÇÃO NA FABRICAÇÃO DAS EMBALAGENS BIOATIVAS

A eletrofição foi patenteada pela primeira vez por Cooley e Morton em 1902. Trata-se de um método direto para produzir micro e nanofibras contínuas. Porém, os princípios elementares para a obtenção das nanofibras surgiram através da junção das pesquisas realizadas por John Zeleny, em 1914, o qual avaliou a influência da força elétrica sobre a superfície de líquidos, que tiveram sua superfície alterada; e, em 1964, Sir Geoffrey Taylor observou que fluidos viscosos condutores, quando submetidos à força elétrica e diferença de potencial, formam finos jatos através da formação de um cone, chamado cone de Taylor.

A eletrofiação ocorre quando a carga aplicada sobre a solução polimérica for superior à tensão superficial do líquido; este deforma-se, causando um cone de Taylor, e é ejetado na forma de um fino jato. O solvente desse jato evapora e o polímero, em forma de membrana a partir de nanofibras com diâmetro de nanômetros a micrômetros, é depositado em um coletor aterrado (DOSHI; RENEKER, 1995). A Figura 2 ilustra de forma esquemática o sistema da eletrofiação, com seus quatro componentes básicos: seringa com a solução

polimérica, tubo capilar com injetor metálico, fonte de alta tensão e a placa coletora aterrada onde se formam as nanofibras poliméricas. Há dois conjuntos de parâmetros que afetam a morfologia da eletrofiação das nanofibras: parâmetros intrínsecos (como viscosidade da solução, taxa de evaporação do solvente e condutividade do polímero) e parâmetros de solução e processamento (que incluem tensão, taxa de alimentação, forma e textura do coletor e distância do coletor).

Imagem 02 - Esquema do processo típico de eletrofiação das embalagens/nanofibras.



Fonte: Adaptado de Ataei *et al.* (2020)

As inovações nanotecnológicas que permeiam a técnica da eletrofiação no ramo das embalagens bioativas estão relacionadas ao processo de fabricação. Este envolve a adição sistemática de agentes antimicrobianos diretamente na solução de polímero, seguido do processo de eletrofiação. Embora a incorporação de óleos essenciais e nanopartículas em nanofibras já tenha sido realizada anteriormente em outros segmentos industriais, seu emprego em embalagens alimentícias é relativamente recente (JOUKI, 2014). Como matriz usada na

eletrofiação, os polímeros naturais disponíveis no mercado podem ser de origem vegetal, animal ou microbiana, e as suas propriedades são passíveis de ser alteradas por diferentes métodos físicos e químicos. Isso permite a seleção das propriedades desejadas, tais como capacidade de absorção de água, cinéticas de degradação, ou propriedades mecânicas com especificações apropriadas a determinadas aplicações (MATSUI, 2007). O álcool polivinílico (PVA), um polímero biocompatível e não tóxico, tem sido amplamente aplicado na

preparação de materiais antimicrobianos eletrofiados (AYTAC *et al.*, 2014; WANG; YUE; LEE, 2015). O ácido polilático (PLA), obtido a partir da dextrose (açúcar) extraída de materiais de fontes renováveis, é um dos biopolímeros mais promissores devido a propriedades com poliolefinas, com potencial de uso em diversos campos, como alimentos, sistemas de entrega de medicamentos e aplicações médicas. Alguns autores questionam as suas propriedades de barreira (RADUSIAN, 2016), porém essa desvantagem pode ser superada com o emprego da nanotecnologia, incorporando pequena quantidade de nanoativos na matriz polimérica e produzindo materiais híbridos. Dessa forma, o PLA nanoestruturado apresenta boas propriedades físico-mecânicas (RAMOS *et al.*, 2016), é resistente ao óleo e vapor de água e apresenta longa transmitância. Tem um bom preço de mercado em comparação a outros polímeros biodegradáveis, e recentemente a Food and Drug Administration (FDA) aprovou o PLA como material seguro para estar em contato com alimentos (WEN *et al.*, 2016). Nanopartículas esféricas tridimensionais (SiO_2 , TiO_2 , ZnO) mostraram um grande potencial na melhoria das propriedades do material PLA. Pilić *et al.* (2016) relataram que uma quantidade muito baixa de nanopartículas de óxido de silício hidrofóbicas (0,2%) melhoram as propriedades de barreira em até 50% e apresentam melhorias significativas nas propriedades mecânicas (resistência à tração), explicadas pelo tipo de nanopartículas, sua boa dispersão e distribuição na matriz PLA. Wen *et al.* (2016) relataram melhorias nas propriedades térmicas e mecânicas do PLA puro pela adição de baixo teor (até 5%) de nanopartículas de óxido de silício hidrofílicas. No trabalho de Bittencourt *et al.* (2019), pode-se encontrar uma descrição da técnica de fabricação das nanofibras poliméricas produzidas pela nanotecnologia de eletrofição incorporadas com óleos essenciais em sua estrutura polimérica.

3.1 O eugenol como agente antimicrobiano na fabricação das embalagens bioativas

Para acrescentar ao PLA as propriedades antimicrobianas, é realizado um preparo da solução de óleos essenciais, anteriormente ao processo de eletrofição. Porém, os antimicrobianos caracterizados como agentes naturais, eficientes e não tóxicos são preferidos devido à saúde e preocupações ecológicas (SUNG *et al.*, 2013). Óleos essenciais são substâncias naturais com poderosa atividade antimicrobiana contra uma grande variedade de patógenos (BURT, 2004) e são categorizados como GRAS (*Generally Recognized as Safe*) pela FDA, indicando que eles podem ser usados na indústria alimentícia sem aprovação adicional, pois são produtos voláteis, orgânicos e de origem vegetal, obtidos por processo físico. Há evidência de que cerca de 35% dos óleos essenciais de plantas possuem atividade antimicrobiana e 65% possuem atividades antifúngicas, atuando na conservação do produto (STIEVEN *et al.*, 2009; LIMA *et al.*, 2006).

Os agentes antimicrobianos podem ser incorporados diretamente à matriz polimérica em rótulos, etiquetas ou estar contidos em sachês (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2004). Sua adição nos filmes poliméricos pode ser feita de duas maneiras: incorporação e imobilização. No primeiro caso, há liberação do agente antimicrobiano para o alimento; enquanto na imobilização o composto atua somente em nível de superfície (HAN, 2005). O uso de embalagens contendo agentes antimicrobianos tem como vantagem a difusão desses compostos para a superfície do alimento de maneira controlada. Com isso, estão presentes em menores quantidades – atendendo a uma demanda atual do consumidor, que é a busca por alimentos livres de conservantes – e apenas onde sua presença é requerida, ou seja, especialmente na superfície do produto, onde ocorre a maior parte das deteriorações.

Um dos promissores antimicrobianos utilizados na indústria alimentícia, de origem natural pode ser encontrado no eugenol (4-alil-2-metoxifenol), que é um fenol natural presente em muitos extratos botânicos, como óleos essenciais de cravo, canela e noz-moscada. O eugenol é um óleo incolor ou um pouco amarelado, com odor característico (MURATORE *et al.*, 2019; FARMAKOLOJIK; ÖZELLIKLERI, 2017). Por esses motivos, tem despertado interesse acadêmico para o estudo em aplicações nas embalagens de alimentos (AMORIM, 2019).

Ao avaliar o potencial antioxidante e antimicrobiano do cravo-da-índia e seus componentes, autores concluíram que o seu uso pode prevenir ou reduzir a oxidação lipídica, agentes deteriorantes e patogênicos em produtos alimentícios, tornando-se, assim, uma alternativa eficaz de conservante natural que prolonga a *shelf life* dos produtos (GÜLÇİN *et al.*, 2012; EL-MAATI *et al.*, 2016). A presença do eugenol nas nanofibras tem sido extensivamente investigada, apresentando atividade antibacteriana, antioxidante e inseticida. Esse fato tem sido relatado em muitos artigos, confirmando que o óleo essencial pode inibir efetivamente *E. coli* (*Gram-negative bacteria*) (REQUENA; VARGAS; CHIRALT, 2019) e *S. aureus* (*Gram-positive bacteria*) (MURATORE *et al.*, 2019; CHENG *et al.*, 2019).

Segundo o trabalho de Geisse (2019), o óleo essencial de cravo-da-índia apresenta resultados satisfatórios quanto à sua efetividade antimicrobiana, sendo comprovada para essa finalidade. Assim, o eugenol se torna uma alternativa atraente a ser inserida em embalagens ativas para alimentos com baixo custo, alto rendimento e eficácia. Quando o ativo antimicrobiano é liberado da embalagem ao longo do tempo, a cinética de multiplicação microbiana e a atividade antimicrobiana na superfície do produto perecível são equilibradas até reduzir o crescimento destes. Dessa forma,

pode-se afirmar que a atividade antimicrobiana da embalagem é estendida, garantindo a segurança durante a distribuição dos alimentos.

3.2 A caracterização da atividade antimicrobiana das embalagens

A atividade antimicrobiana dos óleos essenciais é clara, mas seus mecanismos de ação ainda não estão completamente elucidados. Há consenso de que a grande maioria dos compostos é aromática e fenólica e que estes exercem seus efeitos antimicrobianos diretamente na membrana citoplasmática, provocando alterações na estrutura e funções dos microrganismos (HOLLEY; PATEL, 2005). A caracterização da atividade antimicrobiana das embalagens é realizada em laboratórios certificados, seguindo, na maioria das vezes, a norma ISO-BS 21702:2019 (*Measurement of antiviral activity on plastics and other non-porous surfaces*) e o método qualitativo de difusão em disco (WEN *et al.*, 2016). Geralmente, os estudos mostram e evidenciam a eficiência para um ou mais microrganismos gram positivos e gram negativos, por exemplo: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella abony* e *Listéria monocytogenes*. As análises laboratoriais sempre são realizadas utilizando cepas ATCC.

Imagem 03 - Amostras de embalagens bioativas sendo preparadas para a caracterização da atividade antimicrobiana, sendo: (a) Adição do microorganismo na embalagem; (b) Meio de cultura



Fonte: Das autoras (2022)

O resultado das análises é expresso em mm de zona de inibição. Para a avaliação das nanofibras, estas são colocadas nas tampas das placas de Petri e os resultados expressos em porcentagem de redução de crescimento das bactérias.

4. CONCLUSÃO

Tornam-se cada vez mais emergentes os processos tecnológicos na indústria de alimentos que promovem a redução no emprego de plástico derivado do petróleo, com o benefício de prolongar de forma segura a *shelf life* dos alimentos perecíveis acondicionados nas embalagens. Neste trabalho, o uso combinado da técnica de eletrospinning e a impregnação com óleos essenciais para a produção de embalagens bioativas apresentaram-se como inovações tecnológicas capazes de superar as limitações dos métodos convencionais de produção de embalagens que comprometem a sustentabilidade. Além do mais, as novas embalagens que se mostram cada vez mais importantes no mercado visam a alcançar alguns objetivos principais, como o de estender o prazo de validade dos alimentos, com qualidade e segurança, reduzir o desperdício de alimentos e reduzir a adição de conservantes artificiais ou substituí-los por substâncias naturais com função antimicrobiana.

REFERÊNCIAS

Altan, A.; ÇAYIR, O. Encapsulation of carvacrol into ultrafine fibrous zein films via electrospinning for active packaging. **Food. Packag. Shelf. Life**, 26, 100581. 2020.

AMORIM, G. E. P. **Desenvolvimento e caracterização do filme antimicrobiano de polibutileno adipato-co-tereftalato (PBAT) com óleo essencial de cravo da Índia para**

utilização em embalagem ativa. 2019. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2019.

ATAEI, S.; AZARI, P.; HASSAN, A.; MURPHY, B.; YAHYA, R.; MUHAMAD, F. Essential Oils-Loaded Electrospun Biopolymers: A Future Perspective for Active Food Packaging. **Hindawi Advances in Polymer Technology**, Article ID 9040535, 2020.

BITTENCOURT, E.; MILLÁS, A. L. G.; SILVEIRA, J. V. W. Nanofibras poliméricas incorporadas com óleos essenciais e uso das mesmas. 08/2012, Patente de Invenção, BR 10 2012 020812 1. Patente Unicamp, Depósito: 20/08/2012, INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Brasil. Concessão 06/08/2019.

CHENG, J.; WANG, H.; S. KANG, L.; XIA, S.; JIANG, M. *et al.* **An active packaging film based on yam starch with eugenol and its application for pork preservation**. *Food Hydrocolloids*, 96, pp. 546-554, 2019.

DOSHI, J.; RENEKER, D. H. J. **Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers**. *Journal of Electrostatics*, 35, pp. 151-160, 1995.

EL-MAATI, M. F. A.; MAHGOUB, S. A.; LABIB, S. M.; AL-GABY, A. M. A.; RAMADAN, M. F. **Phenolic extracts of clove (*Syzygium aromaticum*) with novel antioxidant and antibacterial activities**. *European Journal of Integrative Medicine*, v. 8, n. 4, pp. 494-504, 8/2016 2016.

FARMAKOLOJIK, Ö; ÖZELIKLERI, T. Pharmacological and Toxicological Properties of Eugenol. **Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 14, n. 2, pp. 201-206, 2017.

- GÜLÇİN, İ.; ELMASTAŞ, M.; ABOUL-ENEIN, H. Y. Antioxidant activity of clove oil – A powerful antioxidant source. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 5, n. 4, pp. 489-499, 10/2012 2012.
- HAN, J. H. Antimicrobial packaging systems. *In*: Han J. H. (Ed.) **Innovations in food packaging**. Baltimore, CRC Press LLC, 2005
- JOUKI, M.; YAZDI, F. T.; MORTAZAVI, S. A.; KOOCHEKI, A. Quince seed mucilage films incorporated with oregano essential oil: physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. **Food Hydrocolloids**, vol. 36, pp. 9-19, 2014.
- KAWECKI, D.; NOWACK, B. Polymer-Specific Modeling of the Environmental Emissions of Seven Commodity Plastics as Macroand Microplastics. **Environ. Sci. Technol.** 2019, 53, 9664–9676, doi:10.1021/acs.est.9b02900. 3.
- KECHICHIAN, V. **Adição de ingredientes antimicrobianos em filmes biodegradáveis à base de fécula de mandioca**. Dissertação (Mestrado em Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2007.
- LAVRIČ, G.; OBERLINTNER, A.; FILIPOVA, I.; NOVAK, U.; LIKOZAR, B.; VRABIČ-BRODNJAK, U. Functional Nanocellulose, Alginate and Chitosan Nanocomposites Designed as Active Film Packaging Materials. **Polymers**, v. 13, n. 14, 2523, 2021.
- MIHINDUKULASURIYA, S. D. F. Nanotechnology development in food packaging: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 40, pp. 149-167, 2014.
- MURATORE, F., GOÑI, M. L., STRUMIA, M., BARBOSA, S., GAÑAN, N., MARTINI, R. Eugenol as an Active Component in Food Packaging Materials. *In*: **Eugenol: Bio-synthesis, Toxicity and Uses** (pp. 3-51). Hauppauge: Nova Science Publishers, 2019.
- Nerin, C.; Silva, F.; Manso, S.; Becerril, R. The Downside of Antimicrobial Packaging: Migration of Packaging Elements into Food. *In*: Barros-Velázquez, J. (Ed.). **Antimicrobial Food Packaging** (p. 81-93). London: Elsevier, 2016.
- OLIVEIRA, L. M.; OLIVEIRA, P. A. P. L. V. Revisão: Principais agentes antimicrobianos utilizados em embalagens plásticas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 7, n. 2, pp. 161-165, 2004.
- OLIVEIRA, R. A.; REIS, T. V.; SACRAMENTO, C. K.; DUARTE, L. P.; OLIVEIRA, F. F. Constituintes químicos voláteis de especiarias ricas em eugenol. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 771, 2009.
- OTONI, C. G.; ESPITIA, P. J. P.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; MCHUGH, T. H. Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. **Food Research International**, v. 83, pp. 60-73, 2016.
- PILIĆ, B. M.; RADUSIN, T. I.; RISTIĆ, I. S.; SILVESTRE, C.; LAZIĆ, V. L.; BALOŠ, S. S.; DURACCIO, D. Hydrophobic silica nanoparticles as reinforcing filler for poly (lactic acid) polymer matrix. **Hemijaska industrija** (Journal of the Association of Chemical Engineers of Serbia), Beograd, vol 70. n. 1, pp. 73-80, jan.-fev. 2016.
- RADUSIN, T. I.; NEŠIĆ, A.; RISTIĆ, I. S.; PILIĆ, B. M. Possibilities of PLA as food packaging material- nano-reinforcement and electrospinning as future perspective. **MPM 2016 - 6th International Seminar on Modern Polymeric Materials for Environmental Applications**. Kraków, Poland, April 27-29, 12-12, 2016.

- REQUENA, R.; VARGAS, M.; CHIRALT, A. Eugenol and carvacrol migration from PHBV films and antibacterial action in different food matrices. **Food Chemistry**, pp. 38-45, 2019.
- RUVIARO, C. F. *et al.* Food losses and wastes in Brazil: a systematic review. **Revista Desenvolvimento Socioeconômico em Debate**. v. 6 n. 1, pp. 78-90, 2020.
- SOARES, N. F. F.; SILVA, W. A.; PIRES, A. C. S.; CAMILLOTO, G. P.; SILVA, P. S. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Revista Ceres**, jul.-ago., 2009.
- SU CHA, D.; CHINNAN, M. S.; CHOI, J. H.; PARK, H. J. Antimicrobial films based on Na-alginate and K-carrageenan. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.**, 35, pp. 715-719, 2002.
- YAM, K. L.; TAKHISTOV, P. T.; MILTZ, J. Intelligent packaging: concepts and applications. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 1, pp. R1-R10, 2005.
- ZHANG, H.; HORTAL, M.; JORDÁ-BENEYTO, M.; ROSA, E.; LARA-LLEDO, M.; LORENTE, I. ZnO-PLA nanocomposite coated paper for antimicrobial packaging application. **LWT - Food Science and Technology**, v. 78, pp. 250-257, 2017.
- WEN, P.; ZHU, D.; WU, H.; ZONG, M.; JING, Y.; HAN, S. Encapsulation of cinnamon essential oil in electrospun nanofibrous film for active food packaging. **Food Control**, v. 59, pp. 366-376, 2016.