

## CAPÍTULO 12

---

### **Adição de compostos bioativos em embalagens alimentícias ativas e inteligentes: tendências, avanços e desafios**

Marieli Rosseto, Cesar Vinicius Toniciolli Riguetto, Aline Dettmer, Raquel Aparecida Loss, Ionara Regina Pizzutti, Neila Silvia Pereira Dos Santos Richards

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-7-4.c12>

#### **Resumo**

Os polímeros constituem grande parte de embalagens primárias para alimentos e bebidas. As tendências atuais em tecnologia de embalagens estão voltadas para o desenvolvimento de materiais funcionais que interajam com o meio ambiente e com os alimentos, desempenhando funções relevantes na preservação da qualidade. Nos últimos anos, o uso de embalagens ativas tem sido proposto como alternativa às embalagens tradicionais. Nesse contexto, os compostos bioativos promovem atividade antioxidante e antimicrobiana, além de melhorar o desempenho de propriedades físicas, térmicas, químicas e mecânicas, aumentando a vida útil do produto e contribuindo com a inocuidade dos alimentos e segurança alimentar. Este estudo teve por objetivo realizar uma análise bibliométrica e revisão de literatura acerca da utilização de agentes bioativos utilizados em filmes de base biológica para aplicação como embalagens alimentícias. As aplicações, geralmente estão associadas à filmes comestíveis, embalagens inteligentes (indicando a qualidade do alimento através de coloração diferenciada) e demais embalagens primárias. Os principais compostos bioativos utilizados são carotenoides, compostos fenólicos e glicosinolatos, provenientes de extratos naturais e óleos essenciais extraídos principalmente de sementes, frutas e vegetais. Além disso, são reportados estudos envolvendo a extração desses compostos de resíduos agroindustriais, com apelo sustentável. Neste sentido, este estudo teve como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica acerca dos principais componentes bioativos utilizados em embalagens de alimentos, abordando suas principais aplicações. Além de identificar a tendência de publicações científicas dessa temática, por meio da análise bibliométrica, avaliando o cenário atual e elencando desafios e oportunidades da produção das embalagens ativas em escala comercial.

**Palavras-chave:** ciclo de vida, sustentabilidade, inocuidade, inovação.

## 1. Introdução

A embalagem é um componente essencial para a cadeia de abastecimento de alimentos, desempenhando a função de proteger os alimentos de danos e degradação em potencial, garantindo a segurança e a higiene, além de reduzir ativamente o desperdício de alimentos (PETKOSKA *et al.*, 2021). Essa importância reflete no mercado global de embalagens de alimentos, que foi estimado em mais de 300 bilhões de dólares em 2019, com taxa de aumento prevista de 5,2% ao ano (MOTELICA *et al.*, 2020).

As tendências promissoras de crescimento neste mercado, aliadas a crescente conscientização do consumidor por alimentos de qualidade, com embalagens ecologicamente corretas, induzem a pesquisas de técnicas que abordem o sinergismo entre sistemas de filmes de base biológica (biodegradáveis) com agentes bioativos (CHAWLA; SIVAKUMAR; KAUR, 2021). Essas embalagens devem possuir propriedades de interação com os alimentos, apresentando compatibilidade (alimento e material), serem atóxicas, permitindo o contato direto com alimentos frescos ou processados, a fim de otimizar a aparência, barreira contra a passagem de gases, estendendo a vida útil do alimento, além de oferecer informações úteis ao consumidor, como as embalagens inteligentes, por exemplo (ELSABEE; ABDON, 2013).

Neste contexto, o principal objetivo da utilização de compostos bioativos é a conservação, proteção, funcionalidade e segurança dos alimentos, redução de resíduos e contribuição com a sustentabilidade. Além da possibilidade de utilização como uma alternativa aos conservantes químicos na conservação de alimentos (PASTOR *et al.*, 2013; BALTI *et al.*, 2017; PETKOSKA *et al.*, 2021).

A incorporação de compostos bioativos auxilia no aumento da fase hidrofóbica do polímero e reduz a tendência do filme à capacidade de captação de água, bem como a permeabilidade ao vapor de água, formando uma estrutura mais compacta, com matriz polimérica derivada de reticulação interna (SAID; HOWELL; SARBON, 2021). Além disso, o processamento de frutas e hortaliças gera uma grande quantidade de resíduos que podem ser reaproveitados como fonte de antioxidantes naturais, resultando em produtos com vantagens nutricionais e tecnológicas (IAHNKE *et al.*, 2015).

Os principais sistemas de embalagem ativa envolvem eliminação de oxigênio, absorção de umidade, geração de dióxido de carbono ou etanol,

atividade antimicrobiana e melhoria nas propriedades sensoriais, considerando à incorporação do agente ativo não será realizada diretamente nos alimentos (COMA, 2008; CHAWLA; SIVAKUMAR; KAUR, 2021).

As atividades antimicrobianas e antioxidantes podem ser induzidas pelo principal polímero utilizado para embalagem, ou pela adição de componentes bioativos (carotenoides, compostos fenólicos e glicosinolatos), oriundos de fontes naturais, como por exemplo, óleos essenciais, extratos naturais de frutas, hortaliças e plantas (ITURRIAGA *et al.*, 2014; MOTELICA *et al.*, 2020). Estes antioxidantes são naturais, biodegradáveis e biocompatíveis, o que os permite serem aplicados como modificadores ideais para diferentes matrizes biopoliméricas (RANGARAJ *et al.*, 2021).

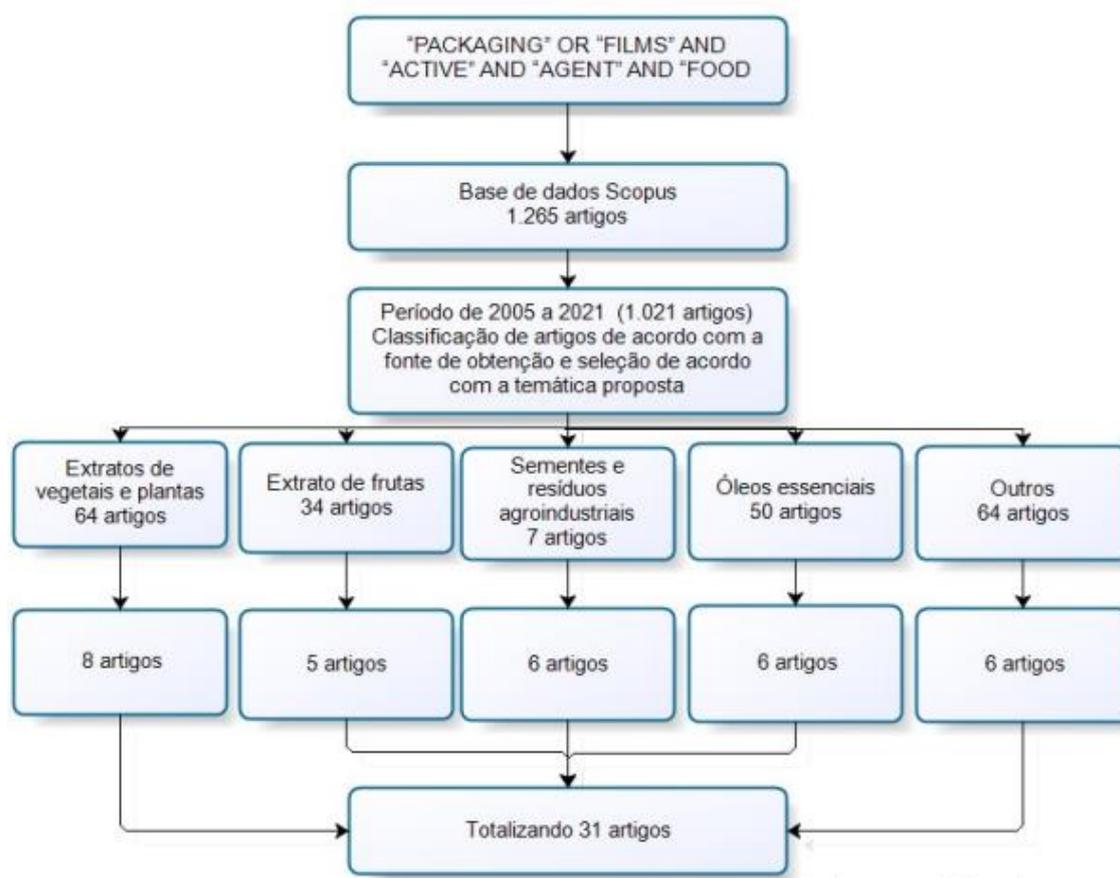
Dessa forma, este estudo teve por objetivo realizar uma análise bibliométrica e revisão de literatura acerca da utilização de agentes bioativos utilizados em filmes de base biológica para aplicação como embalagens alimentícias.

## 2. Metodologia

O levantamento dos artigos baseou-se na busca de documentos a partir da inserção de determinados termos na base de dados Scopus. Inicialmente, foram pesquisados artigos que abordassem no título os termos “PACKAGING” OR “FILMS” AND “ACTIVE” AND “AGENT” AND “FOOD”. O período de pesquisa foi de 2005 a 2021, apenas com artigos experimentais, totalizando 1.015 artigos encontrados.

Os resultados das buscas preliminares na Scopus foram analisados para eliminar artigos com conteúdo sobreposto, para recategorizar determinados artigos ao método considerado mais adequado com base em seu conteúdo, para excluir artigos que não se enquadravam no escopo deste trabalho. A partir dos levantamentos e análise de conteúdo, os artigos selecionados foram explorados pelos autores por meio da ferramenta “Bibliometrix” do software RStudio® versão 7.6, como forma de sistematizar o estado da arte e, principalmente, tecer discussões que gerem novos conhecimentos sobre a temática desse estudo.

A Figura 1 apresenta um fluxograma que resume a metodologia dessa revisão.



**Figura 1.** Condições estabelecidas para a seleção e análise dos artigos incluídos nesse estudo de revisão.

### 3. Revisão de literatura

#### 3.1. Análise bibliométrica

Pela análise bibliométrica, nota-se que o interesse pela utilização de agentes bioativos em embalagens e filmes na indústria de alimentos é crescente, com taxa de crescimento anual de 10,95%. Houve um crescimento acentuado de publicações sobre essa temática, com maior pico de publicações observado no ano de 2020, (Figura 2a). O país que mais publica artigos voltados para temática de estudo é a China, seguida pela Espanha, Itália, Brasil e Irã (Figura 2b).



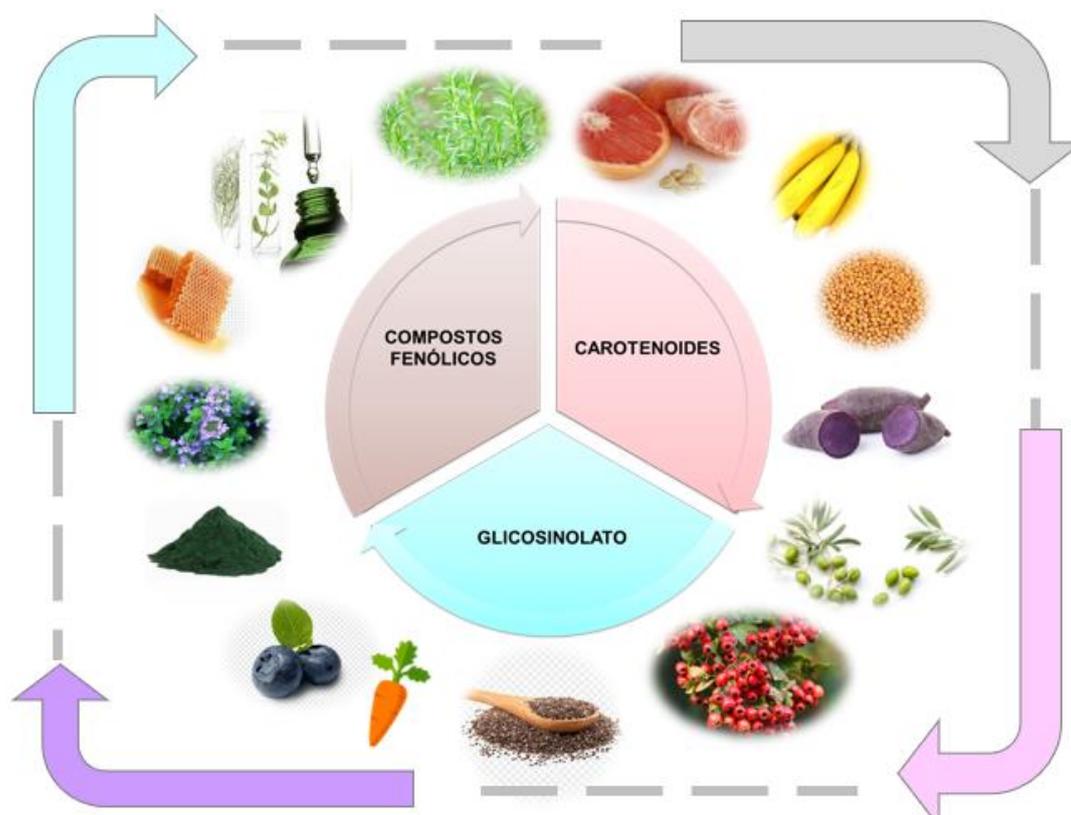
do produto (“shelf life”), preservação de alimentos (“food preservation”) e segurança dos alimentos (“food safety”). As palavras circuladas em amarelo indicam as principais características dos agentes bioativos, que são atividade antioxidante (“antioxidante activity”) e agentes antimicrobianos (“antimicrobial agents”).

### **3.2. Compostos bioativos e suas aplicabilidades**

A utilização de agentes ativos incorporados em embalagens e/ou filmes na indústria de alimentos surgem como uma alternativa à utilização do agente diretamente no alimento (por imersão, escovação ou pulverização), uma vez que esta aplicação pode ser ineficiente, levando à rápida difusão das substâncias ativas resultando na inativação parcial da substância ativa e favorecendo a ocorrência de resistência microbiana (FUCIÑOS *et al.*, 2012). Enquanto que, através dos filmes, as substâncias ativas migram para os alimentos ou absorvem os radicais oxidativos para aumentar a qualidade e o prazo de validade dos alimentos, atuando como uma barreira robusta para a entrada de patógenos microbianos externos na superfície dos alimentos, destruindo quaisquer pontos de estresse oxidativo inerentes aos alimentos, além de ser utilizada como forma de comunicação da conservação dos alimentos (RANGARAJ *et al.*, 2021).

Esses filmes podem ser classificadas em inteligentes, ativos e bioativos. Os filmes inteligentes são elaborados a partir de materiais que monitoram o estado dos alimentos embalados ou do ambiente externo ao redor, fornecendo ao consumidor informações sobre as condições do alimento ou do seu ambiente. Já os filmes ativos, reportam a interação entre produto (agente bioativo), embalagem e ambiente para estender a vida útil dos alimentos embalados. Por fim, os filmes bioativos transportam substâncias nas concentrações desejadas até sua difusão controlada ou rápida no trato gastrointestinal, para que possam promover seu benefício à saúde humana (BIJI *et al.*, 2015; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2021).

Os principais compostos bioativos estudados para incorporação nesses filmes são carotenoides, compostos fenólicos e glicosinolatos, oriundos de diferentes fontes, conforme mostra a Figura 3.



**Figura 3.** Exemplos dos principais agentes bioativos utilizados em embalagens e suas fontes de obtenção.

As principais fontes de obtenção representadas na Figura 3 envolvem vegetais, frutas, sementes, resíduos agroindustriais, óleos essenciais, microalgas, própolis e chá. Dessa forma, os subtópicos a seguir consideram as principais fontes de agentes bioativos aplicados em embalagens alimentícias.

### 3.3.1. Compostos extraídos de vegetais

Os compostos bioativos extraídos de vegetais podem ser obtidos de hortaliças, (cenoura, batata roxa, couve, rabanete, repolho roxo) ou plantas (alecrim, sálvia, tomilho, orégano, louro, oliveira, capim limão) e apresentam resultados promissores para a produção de embalagens sustentáveis e ativas, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias ecologicamente corretas.

Geralmente, os estudos com incorporação de agentes ativos buscam melhorar propriedades de alimentos que possuem rápida deterioração, como por exemplo, produtos veganos (ENCALADA *et al.*, 2021), cárneos (ANDRADE *et al.*, 2019) e frutas (BERMÚDEZ-ORIA *et al.*, 2017), entre outros.

Em produtos veganos, como queijos, a substituição da gordura é alcançada com o uso de nozes, amêndoas, amendoins ou castanhas de caju, por serem fontes de ácido  $\alpha$ -linolênico essencial e de ácidos graxos monoinsaturados, mas estes são instáveis à oxidação. Dessa forma, Encalada *et al.* (2021) estudaram a elaboração de filmes aplicáveis a queijo curado de caju vegano, comparando o desempenho da utilização de pectina comercial em relação a pectina obtida de cenoura frente o desempenho filmogênico, estabilidade da cor laranja (carotenoides) e a capacidade antioxidante durante o armazenamento. Os autores evidenciaram que os filmes com pectina de cenoura apresentaram menor solubilidade em água (redução de aproximadamente 40% em relação ao filme controle), maior capacidade antioxidante e maior estabilidade de coloração laranja durante a aplicação, avaliada por 60 dias.

Em produtos cárneos, a oxidação lipídica ocasiona consideráveis perdas econômicas. Com o objetivo de retardar ou inibir a oxidação lipídica, a indústria alimentícia recorre a compostos com atividade antioxidante, que podem ser aplicados direta ou indiretamente aos alimentos, como em estudo realizado por Andrade *et al.* (2019), que avaliaram a eficiência de um filme ativo de proteína de soro de leite incorporado com extrato de alecrim no retardo da oxidação lipídica de fatias de salame. Os autores concluíram que após 30 dias de armazenamento do salame embalado com o filme ativo, a oxidação ainda é inferior ao salame embalado com o filme controle por 7 dias, ou seja, o extrato de alecrim é eficiente no controle da oxidação lipídica do salame.

Enquanto em frutas, a utilização de filmes ativos visa reduzir a rápida deterioração, uma vez que estas possuem atividade de água superior a 0,95. Dessa forma, Bermúdez-Oria *et al.* (2017) estudaram a possibilidade de utilizar extrato fenólico de oliva (hidroxitirosol e 3,4-dihidroxifenilglicol) para aprimorar o desempenho das propriedades estruturais, mecânicas e funcionais de filmes compostos oriundos de pectina-gelatina aplicados como cobertura comestível em morangos, e evidenciaram que o filme comestível bioativo preservou os morangos contra bolores durante o armazenamento, com um atraso significativo na decomposição visível.

Para embalagens inteligentes, os agentes ativos geralmente possuem pigmentos naturais e são utilizados como materiais para a elaboração de

sensores inteligentes que indicam a qualidade de produtos frescos, como indicador de pH, temperatura e frescor através da mudança de cor (BIJI *et al.*, 2015). No estudo realizado por Chayavanich, Thiraphibundet e Imyim (2020) foi avaliado a elaboração de sensores de pH a partir de filmes de amido de milho e gelatina com incorporação de extrato de rabanete vermelho para aplicação em cárneos. Os autores concluíram que os filmes foram eficientes, uma vez que as mudanças na cor do filme puderam ser observadas (de laranja para cinza-roxo em pH 2–12), sugerindo que sua utilização como indicador de deterioração de produtos cárneos é promissora.

Ma, Du e Wang (2017) elaboraram filmes de goma tara e álcool polivinílico com incorporação de curcumina, visando monitorar a formação de gás e compostos voláteis no armazenamento de camarão, o filme mudou de cor (de amarelo para laranja-avermelhado) com a produção de gás, mostrando sua eficiência na detecção da deterioração do camarão. Similarmente, Liang *et al.* (2019) elaboraram um filme inteligente a base de goma e extrato de repolho roxo para monitoramento da alteração de pH, formação de gás e compostos voláteis, simulando a aplicação em alimentos ricos em proteínas. O filme mudou de cor (de rosa para verde em uma faixa de pH de 3 a 10) em resposta a mudança de pH e formação de gás.

Além dos estudos abordados neste tópico, alguns sistemas propõem a utilização de embalagens com funções duplas (ativas e inteligentes), visando monitorar a qualidade dos alimentos e prolongar sua vida útil em tempo real. Como exemplo, estudo realizado Wen *et al.* (2021) elaboraram um filme a partir de celulose e extrato de batata roxa rica em antocianinas (indicador de pH) e extrato fenólico extraído de tomilho (agente bioativo) para aplicação em camarão. Os autores avaliaram os desempenhos antioxidante, antibacteriano e de resposta de cor do filme possuem capacidade de reciclagem, pois foram medidos por três ciclos, mantendo suas propriedades. Essa combinação de características exclusivas do filme, demonstra seu potencial para utilização em embalagens comerciais de camarão.

Com essa abordagem de sinergia entre embalagens ativas e inteligentes, Ceballos *et al.* (2020) estudaram o efeito de extrato de erva mate no desempenho de filmes de amido. Os autores concluíram que a incorporação do extrato de erva-mate resultou em materiais biodegradáveis ativos e

inteligentes. Os polifenóis do extrato permaneceram nos filmes de amido e foram liberados em diferentes meios, apresentando-os como materiais ativos. Além disso, o extrato de erva-mate provocou alterações na cor dos filmes quando expostos a diferentes meios de pH, resultando em materiais inteligentes.

Assim, os extratos vegetais possuem grande potencial em atender essa demanda para produção de embalagens com funções ativas e inteligentes, possibilitando estender a vida útil dos alimentos, auxiliando na melhoria da segurança alimentar, bem como, na segurança dos alimentos.

### **3.3.2. Compostos extraídos de frutas**

As frutas são reportadas como fontes de compostos bioativos, como os polifenóis, incluindo flavonoides e proantocianidinas, e o seu consumo traz vantagens positivas para a saúde, incluindo a inibição do câncer, doenças cardiovasculares, obesidade e diabetes (SABERI *et al.*, 2017a).

Assim, a obtenção de extratos de frutas para obtenção de compostos bioativos torna-se uma alternativa interessante para aplicações em filmes e/ou embalagens. A Tabela 1 apresenta estudos que produziram filmes com adição de compostos bioativos extraídos de frutas.

Kan *et al.* (2019), por exemplo, extraíram polifenóis dos frutos de espinheiro-alvar chinês e foram adicionados aos filmes de quitosana-gelatina para desenvolver embalagens ativas. Os resultados mostraram que epicatequina, ácido clorogênico e procianidina B2 foram os principais polifenóis presentes no extrato dos frutos. As interações intermoleculares entre a matriz do filme e o extrato se deram por meio de ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas. A incorporação do extrato aumentou a espessura, resistência à tração e alongamento na ruptura dos filmes. O teor de umidade, permeabilidade ao vapor de água e a transmitância de luz foram reduzidos pela adição do extrato. Além disso, os filmes compósitos de quitosana-gelatina contendo o extrato exibiram uma potente capacidade de eliminação de radicais livres.

O uso do pó da casca de laranja doce (PCLD) como alternativa à extração do óleo essencial, viabilizando a produção de embalagens antimicrobianas foi realizado por McKay *et al.* (2021), uma vez que o pó possui

componentes voláteis da casca dentro de “bolsas de óleo”, além disso, o preparo do pó apresenta como principais vantagens não utilizar solventes, reduzindo custos e tempo para extração, bem como a possibilidade de substituir o plástico pelo pó durante a produção do filme. Os filmes produzidos possuíam 46% de plástico (polietileno linear de baixa densidade) substituído por resíduo de processamento de suco de laranja, e apresentaram atividade antimicrobiana contra *Botrytis cinérea*, principal fungo causador da “podridão cinzenta” em frutas como morangos. Além disso, os autores reportam que as propriedades mecânicas e ópticas dos filmes contendo PCLD, são similares à dos plásticos comumente usados em embalagens de alimentos.

**Tabela 1.** Produção e aplicação de filmes como embalagens ativas em alimentos.

Material produzido	Aplicação realizada ou sugerida	Referência
Filmes compósitos de polietileno linear de baixa densidade e pó de casca de laranja	Produção de embalagens tipo bandejas	McKay <i>et al.</i> (2021)
Filmes compósitos de quitosana-gelatina acrescido de extrato de fruta de espinheiro-alvar chinês	Sem aplicações reportadas ou sugeridas	Kan <i>et al.</i> (2019)
Filmes biocompósitos comestíveis de goma guar/amido de ervilha acrescidos de extratos fenólicos de cinzas de mirtilo, casca de macadâmia e casca de banana	Sem aplicações reportadas ou sugeridas	Saberi <i>et al.</i> (2017a)
Filmes biocompósitos comestíveis de goma guar/amido de ervilha acrescidos de extratos fenólicos de cinzas de mirtilo e casca de macadâmia	Sem aplicações reportadas ou sugeridas	Saberi <i>et al.</i> (2017b)

Saberi *et al.* (2017a) desenvolveram embalagens ativas à base de filmes de amido de ervilha e goma de guar contendo antioxidantes naturais de frutas. Os extratos oriundos de cinza de mirtilo (MIR), extrato de casca de macadâmia (MAC) e extrato de casca de banana (BAN) foram adicionados aos filmes, proporcionando aos mesmos, atividade antioxidante em todas as

concentrações testadas (0,75–3 mg/mL). A quantidade de compostos fenólicos que reduzem os radicais livres nos filmes, seguiu a seguinte ordem crescente: MIR>MAC>BAN. Além disso, a barreira à umidade foi melhorada, no entanto, com a adição dos extratos houve redução da transparência dos filmes.

Em estudo subsequente, Saberi *et al.* (2017b) testaram os filmes contendo os extratos de MIR e MAC e verificaram que a atividade antimicrobiana dos filmes foi proporcional ao aumento da concentração dos compostos adicionados, em que foram testadas até 4 vezes o valor de concentração mínima inibitória para cada microrganismo. Os filmes acrescidos dos extratos exerceram forte influência sobre as bactérias gram-positivas, o que pode estar relacionado a várias taxas de difusão de agentes antimicrobianos através da membrana externa circundante das paredes celulares. O menor efeito inibitório foi verificado sobre *Rhizopus sp.* e *S. typhimurium*, que foram os mais resistentes dos fungos e bactérias testados, respectivamente. Por fim, os autores atribuem a capacidade antimicrobiana à compostos bioativos como ácidos fenólicos, flavonoides e antocianinas derivadas dos extratos.

No geral, constatou-se uma grande variedade de estudos que avaliaram os efeitos antimicrobianos e/ou antioxidantes de extratos de frutas, no entanto, como mostrado neste tópico, poucos estudos reportaram a atividade bioativa dos extratos adicionados aos filmes. Ainda, Saberi *et al.* (2017b) reforça que os extratos brutos favorecem maior inibição microbiana, porque as interações químicas entre os grupos hidroxila nos filmes comestíveis e os compostos fenólicos presentes nos extratos poderiam bloquear os sítios antibacterianos ativos.

### **3.3.3. Compostos extraídos de sementes e resíduos agroindustriais**

Para aumentar as propriedades antibacterianas e antioxidantes dos filmes ou embalagens, compostos bioativos extraídos a partir de sementes podem ser incorporados para se obter um efeito sinérgico, como extrato de semente de toranja (BOF *et al.*, 2016), isotiocianato de alila de sementes de mostarda (DAI; LIM, 2013; BAHMID *et al.*, 2020) e extrato de resíduos do amendoim (SERRANO-LEÓN *et al.*, 2018).

Bof *et al.* (2016) observaram que a adição do extrato da semente de toranja, favoreceu a menor rigidez de filmes de amido de milho e quitosana, ou seja, maior extensibilidade do material, que pode ser atribuída ao enfraquecimento das forças da rede polimérica, devido à presença de outros compostos (solubilizados ou dispersos), que interrompem os enredamentos da cadeia do amido. No entanto, os autores relataram que o uso do extrato puro apresentou atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* e *Listeria innocua*, porém, o mesmo efeito não foi verificado nos filmes contendo concentrações de 1 e 3% do extrato, sugerindo novos estudos devem ser realizados a fim de investigar o potencial de melhoria de desempenho para aplicações alimentares específicas. Efeito oposto foi verificado por Kanmani e Rhim (2014), em que a adição do extrato da semente de toranja diminuiu a resistência à tração e o módulo de elasticidade, além disso, aumentou o teor de umidade, a permeabilidade ao vapor de água e a hidrofília da superfície de filmes de carragena.

De acordo com Kurek *et al.* (2017) o isotiocianato de alila (ISAL) possui forte atividade antimicrobiana contra uma ampla variedade de microrganismos deteriorantes e patogênicos, mesmo em baixas concentrações, sendo a semente de mostarda, uma fonte natural de sinigrina, um composto que ao sofrer hidrólise em ambientes úmidos, favorece a formação enzimática desse composto. Nesse contexto, Bahmid *et al.* (2020) avaliaram a influência do tamanho da partícula e do teor de gordura para controlar a liberação de ISAL de sementes de mostarda moídas. Os autores observaram que o principal fator que influencia a concentração de ISAL nas sementes moídas, bem como a liberação do composto para a superfície do meio, é o teor de gordura nas partículas, uma vez que sementes desengorduradas apresentaram liberação maior de ISAL na superfície. No entanto, o maior teor de gordura resultou em um período de liberação prolongado do ISAL, o que pode prolongar o tempo de sua atividade antimicrobiana. Esses resultados apoiam o projeto de uma embalagem otimizada de antimicrobiano ativo, liberando ISAL das sementes de mostarda moídas para inibir o crescimento de microrganismo.

Estudo similar foi realizado por Dai e Lim (2013), que mostraram que a liberação de ISAL do pó de farinha de semente de mostarda em frascos de vidro hermeticamente selados foi influenciada pela umidade relativa do ar (85 e

100% foram testadas), onde as maiores liberações ocorreram em UR de 100%, para as temperaturas 5, 20 e 35 °C. As liberações de ISAL variaram de 2 a 17 mg/g em 24 h nas condições experimentais testadas, de acordo com os autores, esses valores são promissores para implantação em embalagens ativas, especialmente para aplicações antimicrobianas para inibir o crescimento de microrganismos deteriorantes prevalentes em produtos alimentícios perecíveis e minimamente processados.

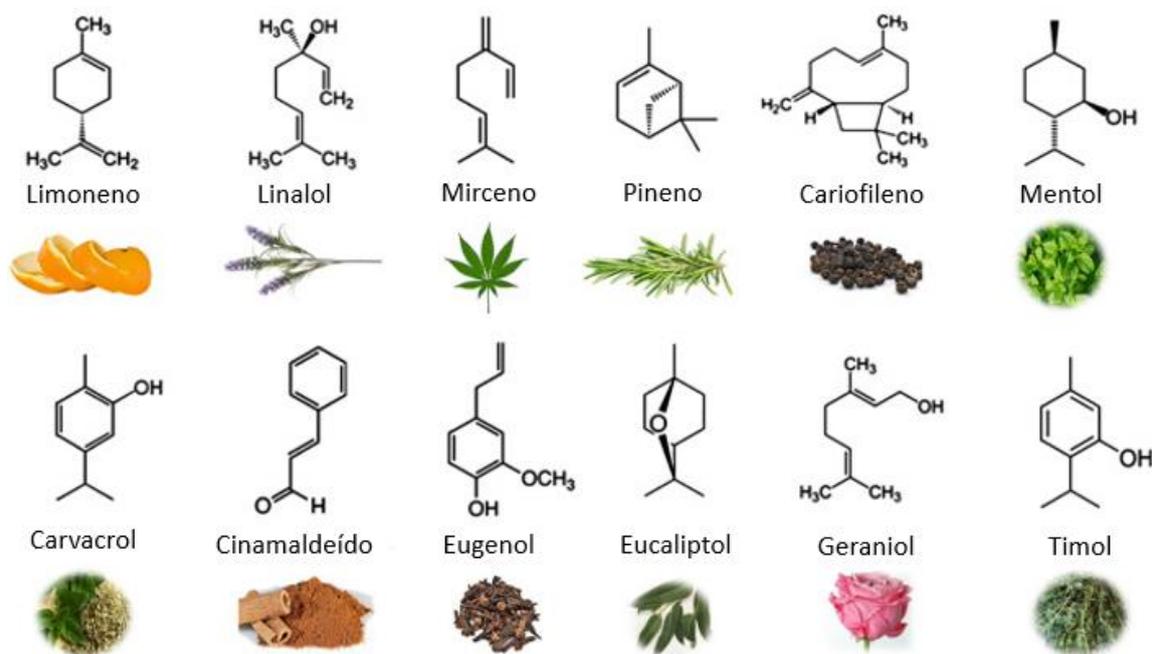
Ressaltamos que, além de compostos bioativos, determinadas sementes, como a de marmelo, possuem um complexo de fração celulósica com um polissacarídeo mais facilmente hidrolisado, denominado mucilagem, sendo promissor para aplicações em filmes ou componente de revestimento, devido suas propriedades coloidais únicas, baixo custo de produção (em comparação com a maioria dos biopolímeros) e fácil extração (JOUKI *et al.*, 2014).

O aumento das atividades do setor agroindustrial resulta na maior geração de resíduos, que geralmente são descartados sem tratamento adequado ou utilizada como fertilizante e ração animal, porém, compostos de interesse industrial podem ser extraídos e utilizados para obtenção de produtos de valor agregado (SERRANO-LEÓN *et al.*, 2018). A pele do amendoim e os resíduos da pimenta rosa, por exemplo, possuem quantidades consideráveis de compostos fenólicos que atuam como antioxidantes (OLDONI *et al.*, 2015; SERRANO-LEÓN *et al.*, 2018).

Serrano-Léon *et al.* (2018) produziram filmes de quitosana incorporando antioxidantes naturais de extratos de casca de amendoim (ECA) e resíduo de pimenta rosa (RPR), bem como avaliar seus efeitos na oxidação lipídica, pH, cor e contagem microbiana de um produto reestruturado de frango. Observou-se que o ECA teve maior conteúdo fenólico e atividade antioxidante em comparação com RPR. Quando ambos os extratos foram aplicados à carne de frango e aos filmes de quitosana, não houve diferenças para cor, pH e contagens mesófilas totais em comparação ao controle ao final do período de armazenamento. Para a oxidação lipídica, ambos os extratos se mostraram tão eficazes quanto o hidroxitolueno butilado para manter a estabilidade oxidativa do produto de frango. As contagens microbianas de psicotróficos foram significativamente menores para os tratamentos com filmes ativos.

### 3.3.4. Óleos essenciais

Os óleos essenciais são compostos por vários componentes como fenóis, aldeídos, cetonas, terpenos, carboidratos, éteres e álcoois que são responsáveis por suas atividades biológicas (Figura 4), estes podem alterar significativamente as propriedades físico-químicas, além de fornecer atividade antioxidante e antimicrobiana funcional que ajudam a maximizar o desempenho do filme (VIANNA *et al.*, 2021).



**Figura 4.** Compostos típicos encontrados em diversos óleos essenciais e exemplos das principais fontes dos compostos. Fonte: Adaptado de Vianna *et al.* (2021).

A utilização de óleos essenciais em embalagens, geralmente está associada a atividades antimicrobianas, incluindo microrganismos patogênicos, além de aprimorar as propriedades de barreira, em diferentes aplicações para produtos secos ou frescos, como cárneos (FIORE *et al.*, 2021), produtos oleosos (ORSUWAN; SOTHORNVIT, 2018), ovos (SUN *et al.*, 2021), lácteos (SEYDIM; SARIKUS-TUTAL; SOGUT, 2020) e frutas (MONTERO *et al.*, 2021).

Como exemplo de aplicação em cárneos, Fiore *et al.* (2021) avaliaram a possibilidade de aplicar embalagem ativa de PLA com incorporação de óleo essencial de alecrim, enriquecido com quitosana para aplicação em peito de

frango fresco picado. Os autores concluíram que os filmes ativos reduziram a oxidação da carne, além de apresentar menor permeabilidade em água, o que facilita a aplicação do filme em embalagens, uma vez que não se observou alterações de cor no frango embalado com o filme ativo. Estudo realizado por Abdou, Galhoum e Mohamed (2018) corrobora com este resultado, os autores relataram que revestimentos de pectina preparados com óleos essenciais de canela e alho melhoraram a qualidade microbiológica e retardaram o aparecimento de deterioração microbiana em filés de frango resfriados, resultando em um aumento da vida de prateleira de até 12 dias.

Outra aplicação de óleos essenciais com o objetivo de controle de oxidação lipídica é em amendoins torrados (snacks), conforme estudo realizado por Orsuwan e Sothornvit (2018), que avaliaram filmes nanocompósitos de farinha de banana com incorporação de óleo essencial de alho. Os amendoins foram armazenados em sachês pelo período de oito semanas, sendo coletadas amostras para avaliação nos tempos de 0, 4 e 8 semanas. Os autores evidenciaram aumento de opacidade do filme, a barreira à luz ultravioleta e as propriedades antioxidantes, além de inibir completamente o crescimento de *A. flavus*. A vida útil dos amendoins torrados embalados foi semelhante a amendoins embalados em embalagem tradicional, confirmando a eficácia da utilização do filme estudado para manter a qualidade de produtos alimentícios secos.

Além disso, os óleos essenciais são estudados com base a ação antimicrobiana sobre microrganismos patogênicos, como por exemplo, Seydim, Sarikus-Tutal e Sogut (2020) avaliaram o efeito de filmes comestíveis de proteína de soro de leite contendo óleos essenciais de orégano e alho na inativação microbiana de queijo Kasar fatiado. Para o teste, foram utilizadas camadas em fatias de queijo Kasar inoculadas com *Escherichia coli* 0157:H7, *Salmonella Enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* e *Penicillium* spp. A inativação microbiana foi determinada durante 15 dias de armazenamento. Os autores observaram que a aplicação de filmes de soro de leite contendo óleos essenciais proporcionou reduções microbianas durante o armazenamento de no mínimo 1,48 log.

Sun *et al.* (2021) avaliaram o efeito da incorporação de óleo essencial de manjerição e cera de abelha nas propriedades físicas, estruturais e

antibacterianas do revestimento à base de emulsão de quitosana para preservação de ovos. Segundo aos autores, a aplicação desse tipo de revestimento não havia sido reportada anteriormente. O revestimento foi aplicado por pistola de pulverização de alta pressão e os autores evidenciaram que a adição do óleo diminuiu o tamanho das gotículas da emulsão e melhorou a estabilidade do revestimento, além de diminuir a permeabilidade em vapor de água, apresentando compatibilidade entre os componentes da emulsão. Também foi constatada a atividade antimicrobiana frente à *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, destacando como melhor condição a utilização de 0,5% e 1,0% de óleo essencial de manjerição na preservação de ovos.

Cabe ressaltar que apesar de todos os benefícios reportados, também possuem algumas limitações como baixa solubilidade, alta volatilidade, aroma forte e a possibilidade de afetar negativamente as propriedades organolépticas dos alimentos (SHARMA *et al.*, 2021). Neste contexto, estudos como Montero *et al.* (2021) avaliam a encapsulação do óleo essencial para controlar sua liberação. Os autores avaliaram a aplicação de óleo essencial de canela encapsulado com nanocelulose para embalar morangos. O óleo essencial alterou as conformações moleculares, reduzindo a permeabilidade, induzindo a menor perda de massa após 15 dias de armazenamento, melhor frescor e ausência de fungos, além de possuir capacidade antimicrobiana para *Salmonella* e *Listeria monocytogenes*. Além disso, foi avaliado a liberação do óleo essencial, em meio etanoico, simulando a aplicação em alimentos frescos (frutas) e foi evidenciado que nos primeiros minutos a liberação é mais rápida, seguindo por liberação mais lenta, que contribuiu com a atividade antimicrobiana reportada.

Dessa forma, a utilização de microencapsulação é elencada como uma abordagem segura e eficaz para garantir o aproveitamento do óleo essencial, e controlar sua liberação na matriz aplicada, uma vez que, a utilização de óleos essenciais pode ser uma alternativa assertiva, devido sua aprovação como aditivos pela Food and Drug Administration (FDA), e portanto, são mais propensos a serem usados substituídos por conservantes sintéticos (SHARMA *et al.*, 2021).

### 3.3.5. Outras fontes de compostos bioativos

Além das fontes reportadas ao longo desta revisão, há uma variedade de opções de agentes ativos que podem ser incorporadas a alimentos. Como por exemplo, microalgas (BALTI *et al.*, 2017; STEJSKAL *et al.*, 2020); própolis (COSTA *et al.*, 2014; ULLOA *et al.*, 2018), compostos de chá (ASHRAFI; JOKAR; NAFCHI, 2018; JAMRÓZ *et al.*, 2019), exemplificados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Produção e aplicação de filmes como embalagens ativas em alimentos.

Agente ativo	Material produzido	Aplicação	Referência
Microalgas	Filmes comestíveis bioativos de quitosana de caranguejo-aranha ( <i>Maja crispata</i> ) incorporada com extrato de <i>Spirulina</i>	Sem aplicações reportadas ou sugeridas	Balti <i>et al.</i> (2017)
	Filme de gelatina com extrato de <i>Spirulina platensis</i>	Peixe (cavala do Atlântico)	Stejskal <i>et al.</i> (2020)
Própolis	Embalagem bifuncional de base biológica de amido de mandioca, glicerol e própolis vermelha	Queijo e manteiga	Costa <i>et al.</i> (2014)
	Filmes antimicrobianos de polímero de ácido polilático com incorporação de diferentes concentrações de própolis	Sem aplicações reportadas ou sugeridas	Ulloa <i>et al.</i> (2018)
Chá	Filme composto de quitosana e kombucha de chá preto	Carne minimamente processada	Ashrafi; Jokar; Nafchi (2018)
	Filmes inteligentes e bioativos de gelatina contendo extratos de chá verde	Filé de peixe ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Jamróz <i>et al.</i> (2019)

A utilização de microalgas já foi reportada para aplicação em filmes ativos na indústria de alimentos como agente antimicrobiano, apresentando bom desempenho, como estudo realizado por Balti *et al.* (2017), que desenvolveram filmes de quitosana com adição de *Spirulina*. A microalga melhorou as propriedades físicas e de barreira do filme, além de apresentar maior atividade antioxidante e antimicrobiana frente *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus cereus*. Stejskal *et al.* (2020) corroboram com os resultados reportados no estudo anterior, avaliando filmes de gelatina com incorporação de *Spirulina* aplicados em peixes, onde os filmes com adição de da microalga apresentaram atividade antimicrobiana para enterobactérias e microrganismos psicotróficos.

Outra fonte bioativa que pode ser utilizada para aplicação em filmes é o própolis, por possuir alta atividade antimicrobiana e antioxidante, conforme estudo realizado por Costa *et al.* (2014) onde elaboraram uma embalagem biofuncional com amido de mandioca, nanocelulose e própolis aplicados para embalar queijo e manteiga. O própolis limitou o crescimento de estafilococos coagulase-positiva no queijo e retardou a oxidação da manteiga. Ulloa *et al.* (2018) elaboraram filmes de poli (ácido láctico) (PLA) e própolis, e também reportaram redução de 4 ciclos log para a bactéria *Escherichia coli*.

Além disso, extratos de chá verde e chá preto apresentaram características antimicrobianas e ativas quando aplicados em carne minimamente processada e filé de peixe, respectivamente (ASHRAFI; JOKAR; NAFCHI, 2018; JAMRÓZ *et al.*, 2019).

#### **4. Desafios e oportunidades para aplicações em escala industrial**

Mesmo com tendências e resultados promissores, ainda há uma série de limitações que precisam ser superadas para uso comercial mais difundido dessas embalagens ativos e inteligentes incorporadas de compostos bioativos na indústria de alimentos. Um dos principais desafios da utilização de agentes ativos em escala industrial está relacionado a estrutura dos polímeros, pois a inserção de novos aditivos pode ocasionar rupturas na estrutura polimérica, levando à produção de compósitos com baixas características mecânicas, o que dificulta sua aplicabilidade (REZAEIGOLESTANI *et al.*, 2017).

Além disso, a maioria dos materiais de embalagem desenvolvidos até o momento, não atendem aos rigorosos requisitos óticos, mecânicos, de barreira ou estabilidade necessários para aplicações comerciais. É necessário avaliações mais abrangentes, que possam garantir que quaisquer materiais de embalagem desenvolvidos permaneçam intactos e funcionem sob a ampla gama de condições ambientais (SANI *et al.*, 2021). Nesse sentido, há uma grande lacuna na pesquisa em relação as taxas adequadas de liberação de compostos ativos para uma ampla gama de aplicações em embalagem de alimentos, uma vez que cada aplicação requer condições específicas (MASCHERONI *et al.*, 2010).

Ademais, o crescimento do mercado de polímeros biodegradáveis é um pouco lento, principalmente devido ao seu alto custo de produção. Uma oportunidade para impulsionar esse mercado seria a utilização de resíduos agroindustriais para a elaboração de filmes biodegradáveis (ROSSETO *et al.*, 2019; 2021), pois subprodutos agrícolas, resíduos e commodities são considerados precursores promissores para a produção de biopolímeros de baixo custo para embalagens ativas comestíveis, atendendo a necessidade de tecnologia inteligente e inovadora em embalagem de alimentos (RANGARAJ *et al.*, 2021).

## 5. Impactos sociais e ambientais

Com relação aos aspectos sociais, levando em consideração os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), a extração de compostos bioativos para aplicações em filmes e/ou embalagens alimentícias pode impactar positivamente em diversos desses objetivos, conforme ilustrado na Figura 5.

Os impactos positivos à ODS 2 (Fome Zero e Agricultura sustentável) se devem à tecnologia conservação de alimentos empregada, garantindo alimentos com maior shelflife e, conseqüentemente, mais alimentos disponíveis à população, ODS 3 (Saúde bem-estar), uma vez que as propriedades antimicrobianas reduzem ou inibem o crescimento de microrganismos deteriorantes e/ou patógenos, proporcionando um alimento seguro ao consumidor, ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), levando em consideração as inovações que as industriais podem adotar, pautadas nas

exigências e tendências determinadas pelos consumidores, ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), pelo consumo de alimentos com compostos de valor agregado, oriundos de fontes residuais (resíduos vegetais, de frutas, entre outros) com apelo sustentável, ODS 14 (Vida na água) e ODS 15 (Vida terrestre), pela utilização de resíduos alimentícios e uso de embalagens biodegradáveis, reduzindo o descarte no meio ambiente.



**Figura 5.** Principais ODS 's que podem ser impactados positivamente pela adição de compostos bioativos em embalagens alimentícias.

## 6. Conclusões e perspectivas

Neste trabalho, foi apresentado um levantamento bibliográfico acerca do uso de compostos bioativos para aplicações em filmes ou embalagens de alimentos. As principais fontes abordadas foram vegetais, frutas, sementes e resíduos agroindustriais, óleos essenciais, entre outros.

Os resultados promissores e aplicações reportadas nos estudos analisados foram relatados, além dos principais desafios para uso dos compostos bioativos em escala industrial. Os aspectos ambientais e sociais, levando em consideração os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável, foram sucintamente abordados.

Como perspectivas, ressaltamos a necessidade da continuidade de estudos voltados para a obtenção de compostos bioativos para aplicação em

filmes de revestimento, comestível ou embalagens de alimentos, podendo contribuir com a evolução desta temática, que contribui diretamente para o desenvolvimento para as áreas de ciência e tecnologia de alimentos e meio ambiente.

## 7. Referências

ABDOU, Entsar *et al.* Curcumin loaded nanoemulsions/pectin coatings for refrigerated chicken fillets. **Food Hydrocolloids**, v. 83, p. 445-453, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.026>.

AID, N.s.; HOWELL, Nazlin K.; SARBON, N.M. A Review on Potential Use of Gelatin-based Film as Active and Smart Biodegradable Films for Food Packaging Application. **Food Reviews International**, p. 1-23, 2021. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2021.1929298>.

ANDRADE, Mariana *et al.* Evaluation of the Oxidative Status of Salami Packaged with an Active Whey Protein Film. **Foods**, v. 8, p. 387, 2019. <http://dx.doi.org/10.3390/foods8090387>.

ASHRAFI, Azam; JOKAR, Maryam; NAFCHI, Abdorreza Mohammadi. Preparation and characterization of biocomposite film based on chitosan and kombucha tea as active food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 108, p. 444-454, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.028>.

BAHMID, Nur Alim *et al.* Using particle size and fat content to control the release of Allyl isothiocyanate from ground mustard seeds for its application in antimicrobial packaging. **Food Chemistry**, v. 308, p. 125573, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125573>.

BALTI, Rafik *et al.* Development and characterization of bioactive edible films from spider crab (*Maja crispata*) chitosan incorporated with Spirulina extract. **International journal of biological macromolecules**, v. 105, p. 1464-1472, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.046>.

BERMÚDEZ-ORIA, Alejandra, *et al.* Physical and functional properties of pectin-fish gelatin films containing the olive phenols hydroxytyrosol and 3, 4-

dihydroxyphenylglycol. **Carbohydrate polymers**, v. 178, p. 368-377, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.042>.

BOF, Maria Julieta *et al.* Grapefruit seed extract and lemon essential oil as active agents in corn starch–chitosan blend films. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, n. 12, p. 2033-2045, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1789-8>.

CEBALLOS, Rocío L *et al.* Effect of yerba mate extract on the performance of starch films obtained by extrusion and compression molding as active and smart packaging. **Carbohydrate Polymers**, v. 244, p. 116495, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116495>.

CHAWLA, Rekha; SIVAKUMAR, S.; KAUR, Harsimran. Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements-a review. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 2, p. 100024, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100024>.

CHAYAVANICH, Kasitnun; THIRAPHIBUNDET, Pattara; IMYIM, Apichat. Biocompatible film sensors containing red radish extract for meat spoilage observation. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 226, p. 117601, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.saa.2019.117601>.

COMA, Véronique. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. **Meat Science**, v. 78, p. 90-103, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.035>.

COSTA, Samantha Serra *et al.* Bi-functional biobased packing of the cassava starch, glycerol, licuri nanocellulose and red propolis. **PloS one**, v. 9, p. e112554, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112554>.

DAI, Ruyan; LIM, Loong-Tak. Release of allyl isothiocyanate from mustard seed meal powder. **Journal of Food Science**, v. 79, n. 1, p. E47-E53, 2014. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12322>.

ELSABEE, Maher Z.; ABDON, Entsar S. Chitosan based edible films and coatings: A review. **Materials Science and Engineering: C**, v. 33, p. 1819-1841, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.010>.

ENCALADA, Alondra Mariela Idrovo *et al.* Antioxidant edible film based on a carrot pectin-enriched fraction as an active packaging of a vegan cashew ripened cheese. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, p. 3691-3702, 2021. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.14988>.

FIORE, Alberto *et al.* Active packaging based on PLA and chitosan-caseinate enriched rosemary essential oil coating for fresh minced chicken breast application. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 29, p. 100708, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100708>.

FUCIÑOS C., *et al.* Use of Poly(N-isopropylacrylamide) Nanohydrogels for the Controlled Release of Pimaricin in Active Packaging. **Journal of Food Science**, v. 77, p. 21-28, 2012. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02781.x>.

IAHNKE, Aline Oliveira e Silva *et al.* Residues of minimally processed carrot and gelatin capsules: potential materials for packaging films. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 1071-1078, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.025>.

ITURRIAGA, Leire *et al.* Active naringin-chitosan films: Impact of UV irradiation. **Carbohydrate polymers**, v.110, p. 374-381, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.062>.

JAMRÓZ, Ewelina *et al.* Intelligent and active furcellaran-gelatin films containing green or pu-erh tea extracts: Characterization, antioxidant and antimicrobial potential. **International journal of biological macromolecules**, v.122, p. 745-757, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.008>.

JOUKI, Mohammad *et al.* Quince seed mucilage films incorporated with oregano essential oil: Physical, thermal, barrier, antioxidant and antibacterial properties. **Food Hydrocolloids**, v. 36, p. 9-19, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.030>.

KAN, Juan *et al.* Development of active packaging based on chitosan-gelatin blend films functionalized with Chinese hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) fruit extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 140, p. 384-392. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.155>.

KANMANI, Paulraj; RHIM, Jong-Whan. Development and characterization of carrageenan/grapefruit seed extract composite films for active packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 68, p. 258-266, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.05.011>.

KUREK, Mia *et al.* A mathematical model for tailoring antimicrobial packaging material containing encapsulated volatile compounds. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 42, p. 64-72, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.05.014>.

LIANG, Tieqiang *et al.* A pH and NH<sub>3</sub> sensing intelligent film based on *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum and red cabbage anthocyanins anchored by carboxymethyl cellulose sodium added as a host complex. **Food Hydrocolloids**, v. 87, p. 858-868, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.028>.

MA, Qianyun; DU, Lin; WANG, Lijuan. Tara gum/polyvinyl alcohol-based colorimetric NH<sub>3</sub> indicator films incorporating curcumin for intelligent packaging. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 244, p. 759-766, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2017.01.035>.

MASCHERONI, Erika *et al.* Diffusivity of propolis compounds in Polylactic acid polymer for the development of anti-microbial packaging films. **Journal of Food Engineering**, v.98, p. 294-301, 2010.

McKAY, Sydney *et al.* Antimicrobial activity of orange juice processing waste in powder form and its suitability to produce antimicrobial packaging. **Waste Management**, v. 120, p. 230-239, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.048>.

MONTERO, Yasmim *et al.* Nanocellulose functionalized with cinnamon essential oil: a potential application in active biodegradable packaging for strawberry. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 29, p. 00289, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00289>.

MOTELICA, Ludmila *et al.* Biodegradable antimicrobial food packaging: Trends and perspectives. **Foods**, v.9, p. 1438, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9101438>.

NGO, Thi Minh Phuong *et al.* Characteristics and antimicrobial properties of active edible films based on pectin and nanochitosan. **International journal of molecular sciences**, v. 21, p. 2224, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijms21062224>.

OLDONI, Tatiane *et al.* Bioassay-guided isolation of proanthocyanidins with antioxidant activity from peanut (*Arachis hypogaea*) skin by combination of chromatography techniques. **Food Chemistry**, v. 192, p. 306-312, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.004>.

OLIVEIRA FILHO, Josemar Gonçalves *et al.* The potential of anthocyanins in smart, active, and bioactive eco-friendly polymer-based films: a review. **Food Research International**, v. 142, p. 110202, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110202>.

ORSUWAN, Aungkana; SOTHORNVIT, Rungsinee. Active Banana Flour Nanocomposite Films Incorporated with Garlic Essential Oil as Multifunctional Packaging Material for Food Application. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, p. 1199-1210, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-018-2089-2>.

PASTOR, Clara *et al.* Physical and antioxidant properties of chitosan and methylcellulose-based films containing resveratrol. **Food Hydrocolloids**, v.30, p. 272-280, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.026>.

PETKOSKA, Anka Trajkovska *et al.* Edible packaging: sustainable solutions and novel trends in food packaging. **Food Research International**, v. 140, p. 109981, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981>.

RANGARAJ, Vengatesan *et al.* Natural antioxidants-based edible active food packaging: an overview of current advancements. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101251, 2021. BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101251>.

REZAEIGOLESTANI, Mohammadreza *et al.* Antimicrobial evaluation of novel poly-lactic acid-based nanocomposites incorporated with bioactive compounds in-vitro and in refrigerated vacuum-packed cooked sausages. **International**

**Journal of Food Microbiology**, v. 260, p. 1-10, 2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodmicro.2017.08.006>.

ROSSETO, Marieli *et al.* Biodegradable polymers: opportunities and challenges. **Organic Polymers**, 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88146>

ROSSETO, Marieli *et al.* Combined effect of transglutaminase and phenolic extract of *Spirulina platensis* in films based on starch and gelatin recovered from chrome III tanned leather waste. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, 2021. <http://dx.doi.org/10.1002/bbb.2244>.

SANI, Mahmood Alizadeh *et al.* Recent Advances in the Development of Smart and Active Biodegradable Packaging Materials. **Nanomaterials**, v. 11, p. 1331, 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/nano11051331>.

SABERI, Bahareh *et al.* Physical, barrier, and antioxidant properties of pea starch-guar gum biocomposite edible films by incorporation of natural plant extracts. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, n. 12, p. 2240-2250, 2017a. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1995-z>.

SABERI, Bahareh *et al.* Characterization of pea starch-guar gum biocomposite edible films enriched by natural antimicrobial agents for active food packaging. **Food and Bioproducts Processing**, v. 105, p. 51-63, 2017b. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.06.003>.

SERRANO-LEÓN Juan *et al.* Chitosan active films containing agro-industrial residue extracts for shelflife extension of chicken restructured product. **Food Research International**, v. 108, p. 93-100, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.031>.

SEYDIM, Atif Can; SARIKUS-TUTAL, Gulsen; SOGUT, Ece. Effect of whey protein edible films containing plant essential oils on microbial inactivation of sliced Kasar cheese. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 26, p. 100567, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100567>.

SHAPI'I, Ruzanna Ahmad *et al.* Antimicrobial properties of starch films incorporated with chitosan nanoparticles: In vitro and in vivo evaluation. **Carbohydrate polymers**, v. 230, p. 115602, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115602>.

SHARMA, Shubham *et al.* Essential oils as additives in active food packaging. **Food Chemistry**, v. 343, p. 128403, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>.

STEJSKAL, Nadia *et al.* The Effect of Gelatine Packaging Film Containing a *Spirulina platensis* Protein Concentrate on Atlantic Mackerel Shelf Life. **Molecules**, v. 25, no 14, p. 3209, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25143209>.

SUN, Rui *et al.* Effect of basil essential oil and beeswax incorporation on the physical, structural, and antibacterial properties of chitosan emulsion based coating for eggs preservation. **Lwt**, v. 150, p. 112020, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112020>.

TAVASSOLI, Milad *et al.* Multifunctional nanocomposite active packaging materials: Immobilization of quercetin, lactoferrin, and chitosan nanofiber particles in gelatin films. **Food Hydrocolloids**, v. 118, p. 106747. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106747>Get.

ULLOA, Pablo *et al.* Development of poly (lactic acid) films with propolis as a source of active compounds: Biodegradability, physical, and functional properties. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, no 8, p. 47090, 2019. <https://doi.org/10.1002/app.47090>.

VIANNA, Thomás Corrêa *et al.* Essential oils as additives in active starch-based food packaging films: a review. **International Journal Of Biological Macromolecules**, v. 182, p. 1803-1819, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.170>.

WEN, Yanyi *et al.* Development of intelligent/active food packaging film based on TEMPO-oxidized bacterial cellulose containing thymol and anthocyanin-rich purple potato extract for shelf life extension of shrimp. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 29, p. 100709, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100709>.

YONG, Huimin; LIU, Jun. Active packaging films and edible coatings based on polyphenol-rich propolis extract: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety** v. 20, p. 2106-2145, 2021. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12697>.

## **Autores**

Marieli Rosseto<sup>1,\*</sup>, Cesar Vinicius Tonicio Riguetto<sup>1</sup>, Aline Dettmer<sup>2</sup>, Raquel Aparecida Loss<sup>3</sup>, Ionara Regina Pizzutti<sup>1</sup>, Neila Silvia Pereira Dos Santos Richards<sup>1</sup>

1. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Santa Maria – RS, Brasil.
2. Departamento, Universidade de Passo Fundo (UPF), Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEAR), Curso de Engenharia Química, Passo Fundo – RS, Brasil.
3. Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Faculdade de Arquitetura e Engenharias (FAE), Curso de Engenharia de Alimentos, Barra do Bugres – MT, Brasil.

\* Autor para correspondência: [mmarielirossetto@gmail.com](mailto:mmarielirossetto@gmail.com)