

APLICAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM ALIMENTOS: UMA REVISÃO SOBRE DESAFIOS E PERSPECTIVAS

APPLICATION OF ESSENTIAL OILS IN FOOD: A REVIEW ON CHALLENGES AND PERSPECTIVES

Jaqueline Scapinello¹

<https://orcid.org/0000-003-3747-3381>

Maryelen Alijar Souza²

<https://orcid.org/0000-0002-3553-5019>

Ariane Paris³

<https://orcid.org/0000-0003-0915-5343>

Letícia Vidor Morgan⁴

<https://orcid.org/0000-0001-5096-3022>

Janier Teresinha Sirena⁵

<https://orcid.org/0009-0008-1342-8512>

Submetido: 21/07/2023 / Aprovado: 21/08/2023 / Publicado: 03/12/2023.

Resumo

Os óleos essenciais são uma importante fonte de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e antimicrobianas que demonstram potencial para atuarem como aditivos naturais em alimentos. São metabólitos secundários de plantas constituídos principalmente de terpenos e fenilpropanoides. Esses óleos são insolúveis em água, voláteis e possuem odor forte e característico. Porém, essas características podem afetar a incorporação desses óleos nos alimentos. Atualmente os óleos essenciais vêm sendo estudados com diversas alternativas de utilização em nanoemulsões, nanocápsulas, nano e micropartículas poliméricas. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão de literatura sobre os óleos essenciais e suas funcionalidades na área alimentícia. Para realizar a pesquisa foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: óleo essencial em alimentos, atividades antimicrobiana e antioxidante e métodos de encapsulamento disponíveis nos bancos digitais. Resultando na importância da utilização destes óleos nas indústrias de carnes, lácteos e outras, considerando que o mesmo pode ser empregado como alternativa aos aditivos tradicionais. O uso de tecnologias de encapsulação tende a auxiliar na estabilização dos óleos, reduzindo os impactos organolépticos nos alimentos, assim como, a

¹Doutora em Engenharia Química. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química, Pinhalzinho - SC. E-mail: jaquescapinello@gmail.com.

²Doutora em Ciências Ambientais. Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ). E-mail: maryelen@unochapeco.edu.br.

³Bacharel em Ciências Biológicas. Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ). E-mail: arianeparisxd@unochapeco.edu.br.

⁴Mestranda em Ciências, Bioquímica. Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: leticiamorgan43@gmail.com.

⁵Doutora em Engenharia de Alimentos. Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (CEPAF), Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). E-mail:



liberação de seus constituintes (metabólitos secundários), favorecendo as suas potencialidades e aumentando a vida útil dos produtos alimentícios.

Palavras-chaves: Antimicrobiano. Encapsulação. Metabólitos secundários.

Abstract

Essential oils are compounds that demonstrate the potential to act as natural additives in food products due to the antimicrobial and antioxidant. They are secondary plant metabolites consisting of terpenes and phenylpropanoids. These oils are insoluble in water, volatile and have a strong and characteristic flavor. However, these characteristics can affect the incorporation of these oils in foods. Currently, essential oils have been studied with several alternatives for use in nanoemulsions, nanocapsules, nano and polymeric microparticles. In this context, the objective of this study was to carry out a literature review on essential oils and their functionalities in the food area. To carry out the research, the following keywords were used: essential oil in food, antimicrobial activity and encapsulation methods available in digital banks. Resulting in the importance of using these oils in the meat, dairy and other industries, considering that it can be used as an alternative to traditional synthetic additives. The use of improved technologies tends to help in the stabilization of oils, thus reducing the impacts, reduces organoleptics in foods, as well as the release of their constituents (secondary metabolites), favoring their potential and increasing the self-life of food products.

Keywords: Antimicrobial. Encapsulation. Secondary metabolites.

1. INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais (OEs) são compostos líquidos, voláteis, com odor e cor característicos, formados a partir de metabólitos secundários de plantas, presentes em todos os órgãos desta, como brotos, flores, folhas, caules, galhos, sementes, frutas e cascas. De acordo com a Organização Internacional de Padronização (ISO - *International Organization for Standardization*), óleo essencial é um produto obtido a partir de uma matéria-prima natural de origem vegetal, por destilação a vapor, hidrodestilação, ou prensagem à frio, esta última principalmente do epicarpo de frutas cítricas (Barros; Assis; Mendes, 2014; Sharma *et al.*, 2021).

São constituídos de uma mistura complexa de compostos poucos solúveis em água, principalmente metabólitos secundários da classe dos terpenos e fenilpropenos. Os terpenos são hidrocarbonetos compostos por várias unidades de isopreno, e podem ser classificados pelo número de unidades de isopreno na molécula (mono, sesqui e diterpenos). Os fenilpropenos são compostos fenólicos ou polifenóis, podem variar de moléculas simples, tais como ácidos fenólicos, para compostos altamente polimerizados, como taninos. Dentre os fenilpropenos presentes nos OEs, o mais conhecido é o eugenol (Hassoun; Çoban, 2017; Dima; Dima, 2015; Ribeiro-Santos *et al.*, 2018; Stevanović *et al.*, 2018).

Na natureza, os compostos presentes nos OEs têm a função de proteger a planta contra-ataques de predadores, como insetos e microrganismos, além de atrair polinizadores para dispersão de pólenes e sementes. Seus constituintes lhes conferem características de aroma, cor e funções antissépticas e são armazenados em células secretoras, epidérmicas, cavidades, canais ou



tricomias glandulares presentes em todos os órgãos das plantas. Além de serem utilizados na fabricação de perfumes, devido às suas propriedades aromáticas, os OEs também são aplicados na produção de fármacos e cosméticos funcionais, como sedativos, analgésicos, anestésicos locais, antimicrobianos e anti-inflamatórios (Silveira *et al.*, 2012; Lavabre, 2019). Juntamente com os extratos, os OEs se enquadram como aromatizantes naturais permitidos para aplicação em alimentos (Brasil, 2007; Bakalli *et al.*, 2008).

Com o aumento da produção de alimentos em escala mundial e da preocupação com a segurança, é indispensável o uso de aditivos alimentares que conservem a qualidade e as características desejáveis. Durante os últimos anos observa-se uma mudança no comportamento dos consumidores de alimentos industrializados que exigem, cada vez mais, alimentos naturais e seguros para a saúde. O consumo de aditivos sintéticos, como corantes, aromatizantes e conservantes estão sendo associados a vários problemas de saúde, com efeitos adversos agudos ou crônicos, como alergias, hipersensibilidade alimentar, hiperatividade e câncer. Este fato vem impulsionando uma transformação no desenvolvimento de novos produtos pelo setor industrial, através principalmente da utilização de matérias-primas naturais nas formulações dos alimentos (Ibarz; Augusto, 2017).

O interesse em produtos naturais, como os OEs, está associado principalmente as suas diferentes propriedades biológicas, como antioxidante, antimicrobiana, analgésica, antidiabética e anti-inflamatória (Kumar; Naraian, 2019; Batiha *et al.*, 2020). Devido a essas características, a indústria de alimentos, cada vez mais, está empregando-os na formulação de produtos ou incorporando-os em embalagens. Sendo que um óleo essencial ideal para indústria de alimentos seria aquele que está disponível em grandes volumes, como coproduto e que é geralmente reconhecido como seguro (GRAS – *Generally Recognized as Safe*). Há diversas variáveis que interferem no rendimento da extração dos OEs, sendo alguns deles a escolha da planta, época de colheita, parte da planta utilizada, o solvente e o método de extração os mais significativos (Calo *et al.*, 2015).

A utilização dos OEs de forma industrial pode apresentar algumas limitações como a grande variabilidade da composição química, interações com a matriz alimentar, toxicidade, características sensoriais peculiares, necessidade de padronização prévia da forma de aplicação no produto, natureza volátil e susceptibilidade à oxidação, sendo necessário o desenvolvimento de tecnologias e de pesquisas para encontrar alternativas que superem essas barreiras (Ribeiro-Santos *et al.*, 2018; Stevanović *et al.*, 2018).

Como uma das alternativas para a indústria alimentícia, processos de encapsulação ou produção de nanoemulsões, são tecnologias que contribuem para melhorar a estabilidade, direcionar a ação dos compostos bioativos, prolongar a vida útil, melhorar a biodisponibilidade, bem como facilitar a incorporação dos óleos essenciais no alimento. Outra opção é a incorporação do óleo essencial em embalagens, com o desenvolvimento de embalagens ativas, que permitem a interação entre o alimento e a embalagem, promovendo atividade antimicrobiana e antioxidante, sem a necessidade de o óleo ser incorporado diretamente ao alimento (Prakash *et al.*, 2018; Hadidi *et al.*, 2020).

Estudos com aplicação de óleos essenciais crescem no âmbito científico, a fim de comprovar as atividades terapêuticas disseminadas pelo conhecimento popular, sendo necessária realizar uma abordagem mais ampla sobre os efeitos dos óleos essenciais aplicados em alimentos na qualidade,



segurança e aceitação sensorial, almejando fornecer uma visão abrangente das suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes e aromáticas, bem como identificar possíveis desafios e oportunidades para sua aplicação na indústria alimentícia.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão da literatura sobre a aplicação de óleos essenciais em alimentos, principalmente produtos cárneos, de forma direta ou através de técnicas de nanoemulsões e encapsulação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo utilizou um método qualitativo (revisão de literatura) e incluiu artigos publicados nos últimos 15 anos. Foram utilizadas as seguintes bases de dados: *Web of Science*, *Scopus*, *Pubmed*, *Springer Nature* e *Scientific Electronic Library*. Como critério de busca foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: *essential oils*, *bioactive compounds*, *antimicrobial*, *antibacterial*, *antioxidant*, *food*, *food packaging*, *meat*, *nanoemulsion* e *encapsulation*, bem como diferentes combinações dessas palavras. A pesquisa ocorreu entre os meses de fevereiro e julho de 2023.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Seleção dos artigos

Um número expressivo de artigos científicos sobre OEs foi encontrado, e após refinar a busca de acordo com as palavras-chaves, a partir das áreas química e de alimentos, com análise detalhada dos títulos e resumos, os textos completos que apresentavam a avaliação de atividades antimicrobiana e antioxidante de OEs puros, bem como na forma de nanoemulsões ou encapsulados, e a avaliação destas atividades *in situ*, principalmente em produtos cárneos, foram os selecionados, resultando em um total de 66 artigos científicos.

3.2 Aplicação de óleos essenciais como conservantes naturais em alimentos

A contaminação bacteriana causa grandes perdas à indústria de alimentos, além de resultar em sérios problemas de saúde pública devido a ocasionar doenças de origem alimentar. A partir disso, houve a adesão de antimicrobianos, antioxidantes e outros conservantes neste ramo, para que houvesse redução de danos (Becerril; Nerín; Silva, 2020). Contudo, nos últimos anos tem havido uma queda na busca por alimentos processados em função do conhecimento da população em relação ao potencial carcinogênico dos conservantes alimentícios, fato que é alertado pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2015). Em função disso, a indústria de alimentos têm estudado alternativas naturais a esses conservantes sintéticos, como os óleos essenciais extraídos de diferentes partes de plantas (Radünz *et al.*, 2019).

Os óleos essenciais costumam ter atividades antioxidante e antimicrobiana satisfatórias. A sua eficácia como antimicrobianos é relacionada principalmente à hidrofobicidade, que permite que entrem nas células dos microrganismos e causem alterações na permeabilidade das membranas, gerando alterações na estrutura e destruição da célula (Mesic *et al.*, 2021). Devido a estas propriedades, os óleos essenciais estão sendo amplamente estudados e explorados pelas indústrias alimentícias, seja pela adição direta no produto, bem como no desenvolvimento de



embalagens ativas para extensão da vida útil dos alimentos (Pelissari *et al.*, 2009; Negi, 2012; Tavares *et al.*, 2014; Ouedrhiri *et al.*, 2016).

A agência regulatória de saúde dos Estados Unidos (*Food and Drug Administration - FDA*) reconhece a segurança dos óleos essenciais de acordo com o Código de Regulamentos Federais (FDA, 2019). Destacando-se os OEs reconhecidos como seguros pela FDA (2019): Alecrim (*Rosmarinus officinalis*); Baga de zimbros (*Juniperus communis*); Bergamota (*Citrus bergamia*); Cal (*Citrus aurantifolia*); Camomila Romana (*Anthemis nobilis*); Canela (*Cinnamomum zeylanicum*); Cassia (*Cinnamomum cassia*); Coentro (*Coriandrum sativum*); Cominho (*Cuminum cyminum*); Cravo-da-Índia (*Eugenia caryophyllata*); Erva-cidreira (*Cymbopogon flexuosus*); Erva-doce (*Foeniculum vulgare*); Gengibre (*Zingiber officinale*); Gerânio (*Pelargonium graveolens*); Hortelã (*Mentha spicata*); Hortelã-pimenta (*Mentha piperita*); Laranja azeda (*Citrus aurantium*); Laranja Selvagem (*Citrus sinensis*); Limão (*Citrus limon*); Manjeriço (*Ocimum basilicum*); Manjerona (*Origanum majorana*); Melissa (*Melissa officinalis*); Orégano (*Origanum vulgare*); Pimenta preta (*Piper nigrum*); Sálvia (*Salvia sclarea*); Tangerina (*Citrus reticulado*); Tomilho (*Thymus vulgaris*); Toranja (*Citrus paradisi*); Ylang Ylang (*Cananga odorata*). Além disso, a União Europeia aprovou o uso destes também em embalagens de alimentos, estratégia que diminui a ingestão, considerando que níveis elevados geram toxicidade (Becerril; Nerín; Silva, 2020).

Fernández-López e Viuda-Martos (2018), realizaram uma revisão bibliográfica e descobriram centenas de artigos publicados relacionados às atividades antioxidante e antimicrobiana de óleos essenciais. Quando filtraram a busca por tipos de alimentos, encontraram 657 artigos relacionados à conservação de frutas, 403 relacionados à conservação de vegetais, 415 relacionados à conservação de peixes, 410 relacionados à conservação de carnes, 216 relacionados à conservação de leite e derivados e 97 relacionados à conservação de panificados.

De fato, numerosos estudos comprovam a eficácia dos óleos essenciais na conservação de alimentos, principalmente de origem animal. Em queijos, por exemplo, o uso dos OEs é amplamente avaliado através de estudos *in vitro* e em alguns casos com avaliações sensoriais que determinam a eficiência da aplicação no produto. Os principais OEs como orégano, capim-limão, tomilho e cravo da Índia demonstram eficácia como antimicrobianos naturais, principalmente sobre agentes patogênicos de importância na indústria láctea como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes* (Durço *et al.*, 2020). Outras matrizes como bebida láctea, iogurte e até o leite fluido também foram avaliadas em estudos com aplicação de OEs. Até mesmo em doce de leite a aplicação dos OEs de cravo e de canela demonstraram ação antioxidante notável quando comparado com amostras controle, preservando ainda as características sensoriais do produto, com aceitação pelos consumidores equivalente ao produto controle (Antigo *et al.*, 2017).

Já em produtos cárneos a aplicação é ainda mais frequentemente estudada, principalmente em derivados cárneos como salames, hambúrgueres e linguiças. Nestes casos, a combinação do aroma dos OEs é mais facilmente equilibrada sensorialmente, principalmente os OEs extraídos de especiarias como orégano, alecrim, cravo e manjeriço, associando as características aromáticas às propriedades funcionais (Boskovic *et al.*, 2019).

Tofiño-Rivera *et al.* (2017), constataram que as espécies de *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* são os microrganismos mais comumente encontrados na contaminação



de embutidos cárneos. Estes autores avaliaram a substituição de conservantes químicos na produção de linguiças artesanais por OEs de tomilho (*Thymus vulgaris*) e cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*). Apesar de os conservantes químicos serem responsáveis por menor desenvolvimento microbiano nos produtos finais em comparação com os produtos preparados com os óleos essenciais, os embutidos produzidos com os OEs se destacaram nos atributos cor e sabor nas análises sensoriais conduzidas, além de também demonstrarem satisfatória conservação, com inibição de crescimento para *Salmonella* spp., *S. aureus* e *E. coli* (Tofiño-Riveira *et al.*, 2017). Resultados similares foram obtidos por Šojić *et al.* (2019), os quais relataram significativa atividade antioxidante e antimicrobiana do óleo essencial de coentro (*Coriandrum sativum*) quando aplicado como aditivo alimentar em linguiças de porco cozidas.

As atividades antioxidante e antimicrobiana do óleo essencial de limão (*Citrus limon*) foram avaliadas por Hsouna *et al.* (2017), frente a *Listeria monocytogenes* inoculada em carne de gado picada. O óleo demonstrou excelente atividade antioxidante medida através da eliminação de radicais 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH). A Concentração Inibitória Mínima (CIM) variou de 0,039 a 1,25 mg/mL para bactérias Gram-positivas e de 0,25 a 2,5 mg/mL para bactérias Gram-negativas, e o óleo inibiu o crescimento de *L. monocytogenes* nos pedaços de carne. Os autores concluem que essas concentrações do óleo são promissoras na prevenção da contaminação e do crescimento de bactérias patogênicas, em especial *L. monocytogenes*, no armazenamento de carne bovina picada a 4,0 °C.

Alanazi *et al.* (2018), investigaram os efeitos inibitórios de constituintes de óleos essenciais (cinamaldeído, eugenol, isotiocianato de alila e carvacrol) contra a germinação e o crescimento vegetativo de esporos de *Clostridium perfringens* tipo A *in vitro* e *in situ* (carne de frango). Cinamaldeído, eugenol e carvacrol a 0,05 – 1,0% inibiram a germinação dos esporos de todos os *C. perfringens* isolados em meio TGY (Trypticase Glucose Levedura), e todos os constituintes (0,05 - 1,0 %) impediram o desenvolvimento e o crescimento vegetativo dos esporos de *C. perfringens* em meio TGY. Contudo, apenas o isotiocianato de alila (0,5 - 2,0%) impediu o crescimento de esporos de *C. perfringens in situ*, o que o torna efetivo no controle de esporos e células vegetativas de *C. perfringens* isolados em meio laboratorial.

Um novo método de aplicação de óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*) foi aplicado por Hernández *et al.* (2018), durante a secagem de carne, na forma de vapor diretamente em uma câmara de secagem. A carga microbiana foi avaliada nas amostras tratadas e comparada com amostras controle. Para amostras de carne inoculada com *Escherichia coli*, os autores relatam que a Concentração Inibitória Mínima do óleo contra este microrganismo após 6 h de secagem a 55 °C foi de 0,028 mL/L de ar. O estudo conclui que este método é uma opção viável e alternativa aos conservantes usuais para reduzir a carga microbiana na carne seca.

Através da demanda por produtos alimentícios minimamente processados, seguros e de qualidade, surgem as necessidades de mais estudos para verificação da eficácia dos filmes e revestimentos comestíveis na extensão de vida útil de alimentos, sendo uma inovação do conceito de embalagem ativa biodegradável, vista como desenvolvimento sustentável (Durango; Soares; Arteaga, 2011).

Nesse sentido, Tavares *et al.* (2014), desenvolveram uma cobertura comestível à base de alginato acrescida dos óleos essenciais de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e orégano (*Origanum vulgare*) para uso no produto lácteo ricota. Os autores verificaram ausência de coliformes a 45 °C,



estafilococos e *Salmonella ssp.* nas amostras contendo óleo essencial (alecrim e orégano), analisadas durante 21 dias, e não houve diferença significativa entre as amostras em relação à análise sensorial, concluindo que a adição da cobertura comestível em ricota é uma alternativa viável para a conservação do produto.

O estudo da aplicação de uma embalagem ativa, que consistia em uma matriz de biopolímero (celulose/proteína de soro de leite) nanoestruturada reforçada com partículas de dióxido de titânio (1%) e gotículas de óleo essencial de alecrim (2%) foi realizado por Alizadeh-Sani, Mohammadian, McClemets (2020), na preservação de carne de cordeiro refrigerada a 4,0 °C por 15 dias, a fim de substituir as embalagens de plástico à base de petróleo. As amostras de carne foram analisadas periodicamente quanto à contagem de colônias e estabilidade química (pH, oxidação lipídica, lipólise). O estudo concluiu que a embalagem diminuiu significativamente o crescimento microbiano, a oxidação lipídica e a lipólise das amostras no período, o que resultou em um aumento na vida útil para aproximadamente 15 dias.

Neste estudo, um material de embalagem à base de biopolímero foi preparado usando um método de fundição, que consistia em uma matriz de nanofibra de celulose/proteína de soro de leite contendo partículas de dióxido de titânio (1% TiO₂) e gotas de óleo essencial (2% óleo de alecrim) como componentes funcionais.

Xavier *et al.* (2021), propuseram uma embalagem de quitosana funcionalizada com uma nanocápsula de zeína carregada com óleo essencial de pimenteira (*Cinnamodendron dinisii*) para a conservação de carne moída. O óleo essencial apresentou alta atividade antioxidante, que foi mantida após o nanoencapsulamento e incorporação à matriz de quitosana. Sua atividade antimicrobiana foi significativa contra *Salmonella typhimurium* e *Shigella flexneri*. Na análise *in situ*, o óleo resultou na menor degradação oxidativa em comparação aos grupos controles. Ademais, o processo de nanoencapsulamento protegeu o óleo essencial da degradação térmica, o que garantiu sua efetividade na conservação, e, segundo os autores, essa formulação pode ser utilizada para aumentar o tempo de prateleira de carnes.

Najjaa *et al.* (2020), desenvolveram extrato de *Allium sativum* seco por congelamento, seco em forno e seu óleo essencial microencapsulado pela técnica de *spray dryer* como potenciais agentes conservantes de carne picada. No estudo, os autores compararam a atividade antibacteriana de cada formulação, e identificaram que apenas o óleo essencial microencapsulado e o alho seco por congelamento, ambos na concentração de 20% (m/m), bem como o óleo essencial microencapsulado a 15% (m/m), aumentaram em 4 dias a vida útil da carne picada.

Assim, é expressivo o potencial biológico que os óleos essenciais apresentam frente a maioria dos microrganismos de importância na indústria alimentícia, bem como processos de encapsulação demonstram melhora nas atividades, conforme relatam diversos estudos científicos, garantindo que estes possuem aplicabilidade como agentes conservantes em alimentos, principalmente de origem animal, como produtos cárneos e lácteos.

3.3 Desenvolvimentos recentes em nanoemulsões e em técnicas de encapsulamento de óleos essenciais

Os compostos bioativos presentes nos óleos essenciais são, em geral, sensíveis a fatores externos, como luz, calor e oxigênio, ou seja, são facilmente acometidos por oxidação, volatilização e degradação. Em função disso, para tornar viável a sua utilização pela indústria,



pode-se fazer uso de técnicas de proteção, como o encapsulamento. Esse processo possibilita minimizar as interações dos óleos essenciais com o ambiente externo, serve como forma de liberação controlada, aumento do tempo de ação, e ainda ajuda a mascarar características sensoriais indesejáveis, sem diminuir sua ação (Asbahani *et al.*, 2015; Kaur *et al.*, 2020; Radünz *et al.*, 2020).

O encapsulamento pode ser realizado por meio de diversas técnicas, protegendo os óleos essenciais com uma ou mais camadas de um agente de revestimento. Este pode ser composto, por exemplo, por partículas poliméricas, como a quitosana, que é um polímero natural que apresenta propriedade antimicrobiana, podendo resultar em sinergismo com o óleo essencial. Polímeros naturais como a caseína, maltodextrina, alginato de sódio e poli(L-ácido láctico) são comumente empregados como agentes encapsulantes para óleos essenciais. Ademais, a formação de emulsões de óleos essenciais, um dos sistemas de encapsulamento mais utilizados, permite a incorporação de componentes hidrofóbicos em uma matriz hidrofílica (Pateiro *et al.*, 2021).

Indústrias como a alimentícia, farmacêutica, cosmética e agroquímica têm demonstrado grande interesse na utilização de dispersões coloidais para encapsular, proteger e liberar componentes bioativos lipofílicos visando aumentar sua biodisponibilidade. Uma das tecnologias aplicadas é o desenvolvimento de nanoemulsões, que consistem em dispersões coloidais termodinamicamente instáveis compostas por dois líquidos imiscíveis, um disperso no outro em partículas menores (raio entre 100 e 500 nm) que as de emulsões convencionais (McClements, 2012).

Nanoemulsões podem ser dispersões de óleo em água (O/A), água em óleo (A/O) ou água em óleo em água (A/O/A), e sua estabilidade é provida por um surfactante adequado. Surfactantes comumente utilizados nesse tipo de formulação são lecitina, proveniente da gema do ovo ou da soja, além do desoxicolato de sódio (sal biliar), polioxil-35 óleo de rícino (Cremophor® EL), polissorbato 20, 40, 60 e 80, Span 20, 40, 60 e 80 (monolaurato de sorbitan), entre outros. Além disso, conservantes, antioxidantes e quimioprotetores também são empregados na sua composição (Ansarian *et al.*, 2022).

Em função de serem sistemas instáveis, para formar nanoemulsões é necessária a entrada de energia externa para que os componentes separados possam ser convertidos em uma dispersão coloidal, e esta deve, no mínimo, exceder a energia livre positiva associada ao aumento da área de contato entre as fases oleosa e aquosa. Os métodos possíveis de serem empregados na formação desse sistema são os de alta energia, que depende de ações mecânicas para reduzir o tamanho, a exemplo da emulsificação e homogeneização a alta pressão (por meio de microfluidizador, homogeneizador a pistão e ultrassom) e de baixa energia de emulsificação (emulsificação espontânea, método de inversão de fase) (Singh *et al.*, 2017).

Apesar da instabilidade, esse tipo de formulação não costuma apresentar problemas como cremação, floculação, coalescência e sedimentação, que são comuns em emulsões convencionais (Arianto; Cindy, 2019). Outras vantagens apresentadas pelas nanoemulsões são a menor evaporação de óleos, melhora na solubilidade de óleos essenciais e menor toxicidade, aumento da biodisponibilidade de moléculas lipofílicas, entre diversas outras, que tornam interessante a sua utilização em óleos essenciais (Das *et al.*, 2019; Kaur *et al.*, 2020).

Diversos estudos confirmam a qualidade das nanoemulsões de óleos essenciais, demonstrando que estas são adequadas para incorporação em formulações alimentares, para



prevenir e controlar o crescimento microbiano e prolongar a vida útil. Das et al. (2019), relatam que a nanoemulsão do óleo essencial de camomila (*Matricaria chamomilla*) aumentou significativamente as atividades antibacteriana e antifúngica em comparação ao óleo essencial em emulsão convencional, frente aos microrganismos *E. coli*, *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. aeruginosa*, *S. pyogenes*, *C. albicans* e *C. tropicalis*. Resultados semelhantes foram encontrados por Maccelli et al. (2020), que avaliaram a atividade antimicrobiana da nanoemulsão do óleo essencial das folhas de *Satureja montana* L, frente a microrganismos *E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. aeruginosa* e *K. pneumoniae*, com valores de Concentração Inibitória Mínima variando de 0,39 a 6,25 mg/mL.

O óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*) também foi estudado por Moraes-Lovison et al. (2017), através da incorporação de nanoemulsões do óleo essencial em patê de frango, as quais exibiram boa ação antimicrobiana frente a *S. aureus* e *E. coli*, com Concentração Bactericida Mínima de 0,90 e 3,32 mg/mL, respectivamente. Os autores ainda relatam que a incorporação das nanoemulsões em patê de frango não alterou as características físico-químicas do produto cárneo, o que o torna adequado para ser incorporado em formulações de alimentos para controlar o crescimento bacteriano e prolongar a vida útil.

Balasubramani et al. (2017), encapsularam o óleo essencial das folhas de *Vitex negundo* L. e prepararam a nanoemulsão por meio do método de baixa energia de emulsificação. Esta demonstrou melhor atividade antimicrobiana que o óleo essencial não encapsulado frente a *E. coli*, *Enterobacter aerogenes* e *Enterococcus faecalis*, bem como aumento da atividade antioxidante de 28,87 para 23,26 µg/mL (IC₅₀) através do teste da eliminação de radicais 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH). Os autores atribuíram esses resultados ao aumento da área superficial e da estabilidade causados pela nanoemulsão.

Ademais, Yazgan, Ozogul e Kuley (2019), investigaram a ação da nanoemulsão do óleo essencial de limão (*Citrus limonum*) sobre microrganismos de origem alimentar (*Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis* e *Salmonella*) em comparação ao óleo essencial não encapsulado. Os autores relatam que a nanoemulsão teve maior atividade antimicrobiana sobre todos os patógenos, exceto para *K. pneumoniae*, e que a conversão do óleo em nanoemulsão resultou em melhora dessa propriedade. Eles ainda sugerem que o uso dessa nanoemulsão pode ter potencial como antimicrobiano natural na indústria alimentícia.

Referente aos outros métodos de encapsulamento, diversos estudos foram realizados, com destaque para o emprego na conservação de alimentos. Radünz et al. (2019), encapsularam o óleo essencial de alho (*Syzygium aromaticum* L.) com alginato de sódio e emulsificantes a fim de utilizá-lo como antimicrobiano sem interferência do seu aroma no alimento. O encapsulamento teve alta eficiência e as partículas resultantes apresentaram menor atividade antioxidante e maior atividade antimicrobiana (*in vitro*, microrganismos *S. aureus*, *E. coli*, *L. monocytogenes* e *S. Typhimurium*) em comparação ao óleo não encapsulado. A atividade antimicrobiana, *in situ*, em hambúrguer, do óleo essencial a 3,04 mg/mL teve resultados superiores aos do conservante nitrito, com valores de 3,84 e 4,11 log UFC/g para *S. aureus*, para o óleo e conservante, respectivamente, considerado a análise realizada sete dias após a preparação dos hambúrgueres.

Silva et al. (2020), utilizaram a técnica de ultrassonificação para encapsular componentes de óleos essenciais (cuminaldeído e isoeugenol) com metil-β-ciclodextrina a fim de aumentar sua solubilidade em água e seus efeitos antimicrobianos. Os resultados dos testes realizados



confirmaram o aumento na estabilidade e na solubilidade dos componentes do óleo, na atividade antioxidante e na atividade antimicrobiana frente a *S. aureus* e *E. coli* em comparação aos componentes não encapsulados.

O óleo essencial de canela (*Cinnamomum verum*) foi encapsulado em uma permutita ($\text{Ag}^+/\text{Zn}^{2+}$) nanoporosa a fim de promover liberação prolongada do óleo e efeito antimicrobiano sinérgico como conservante em embalagem de alimentos. As partículas encapsuladas demonstraram atividade antimicrobiana frente a *Aspergillus niger* e *Penicillium* sp. em comparação à permutita/óleo não encapsulada, que não apresentou atividade antimicrobiana para estes microrganismos. Pads de etilcelulose modificados pelas partículas encapsuladas foram testados quanto à atividade antimicrobiana *in situ* na conservação de amora chinesa e demonstraram incidência de decomposição significativamente menor que o grupo controle (NIU *et al.*, 2018).

Biduski *et al.* (2019), encapsularam óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) com o emulsificante anidrido octenil succínico (OSA-starch) por meio da técnica de *eletrospray*, e a eficiência de encapsulação foi avaliada, resultando em valores de 82 a 98%. Em resumo, anidrido octenil succínico (OSA-starch) produziu emulsões estáveis e adequadas para a encapsulação pela técnica de *eletrospray* - especialmente a emulsão com 20% de etanol (v/v), que resultou em menores gotículas e maior estabilidade que as emulsões com maior concentração de etanol.

A técnica de *spray dryer* é uma das mais utilizadas para transformar compostos líquidos em pó desidratado, e o encapsulamento de OEs por *spray dryer* é muito promissora, considerando que este equipamento é bastante difundido em nível industrial, facilitando sua aplicação em diversos setores, bem como resultar em boa retenção de compostos voláteis, sem alterar significativamente a composição química dos OEs, mantendo a atividade biológica (MINOZZO *et al.*, 2021).

Locali-Pereira *et al.* (2020), microencapsularam o óleo essencial de pimenta rosa (*Schinus terebinthifolia*) em matrizes de camadas simples ou duplas pela técnica de *spray dryer* a fim de modular sua volatilidade e propriedades antimicrobianas. As partículas com camada simples foram estabilizadas com proteína de soja isolada, enquanto as de camada dupla, com proteína de soja isolada/alta metoxil pectina. As microcápsulas de camada dupla demonstraram maior conservação dos componentes voláteis do óleo, menor adsorção de água em armazenamento em umidade relativa maior ou igual a 75 % e maior atividade antimicrobiana em comparação às de camada simples. Ainda, ambas inibiram o crescimento de *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes* e *Listeria innocua in vitro*. *In situ* (leite), ambas reduziram o crescimento bacteriano, enquanto o óleo não encapsulado não demonstrou inibição satisfatória. Os autores concluíram que a microencapsulação melhorou as propriedades do óleo essencial estudado e destacaram seu potencial como um conservante natural em produtos lácteos.

Uma pesquisa foi realizada sobre encapsulação do óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*) e avaliação do potencial antimicrobiano *in vitro* e *in situ* em produtos cárneos do tipo hambúrguer. Microcápsulas de caseína-maltodextrina foram produzidas por secagem por pulverização (*spray dryer*) e avaliadas quanto à eficiência de encapsulação, estabilidade térmica, compostos químicos e morfologia, além da atividade antimicrobiana nos hambúrgueres após cocção. Como resultado, os autores observaram que as cápsulas contendo o óleo essencial foram responsáveis pela inibição *in vitro* e *in situ* dos microrganismos *S. aureus*, *E. coli*, *L.*



monocytogenes e *S. Typhimurium*. Além disto, as cápsulas apresentaram alta eficiência de encapsulação (88,9 %) e estabilidade térmica, o que permitiu maior proteção do óleo essencial. O efeito antimicrobiano do óleo essencial encapsulado frente a *S. aureus*, no produto, foi verificado após 14 dias de ensaio, quando o óleo essencial não encapsulado não apresentou essa atividade nesse tempo. Os autores do estudo relatam que esse resultado é devido à liberação lenta de compostos voláteis que ficam protegidos pelo agente encapsulante (Radünz *et al.*, 2020).

Considerando que a produção de alimentos exige diferentes processos, em especial térmicos, a aplicação de óleos essenciais como agentes conservantes é relatada como mais bem sucedida quando processos de proteção são empregados, uma vez que OEs apresentam compostos voláteis, que podem evaporar ou até mesmo se decompor sob as condições de processamento. Processos de encapsulação (micro e nano) são relatados na literatura como eficazes na manutenção das atividades antioxidantes e antimicrobianas, bem como na preservação dos compostos bioativos dos OEs.

3.4 Principais limitações de aplicações de óleos essenciais em alimentos

É notório que os óleos essenciais apresentam promissoras propriedades para a conservação de alimentos. No entanto, é importante reconhecer suas principais limitações. A volatilidade dos compostos aromáticos presentes nos óleos essenciais pode resultar em degradação destes ao longo do tempo, reduzindo sua eficácia como aditivo alimentar. Nesse sentido, a encapsulação torna-se uma técnica atraente na preservação de compostos instáveis, facilitando sua aplicação na indústria alimentícia. Cabe ressaltar que, por vezes, técnicas de encapsulação podem apresentar alguns inconvenientes como: gerar microcápsulas não uniformes; produção de pós muito finos que podem necessitar de processamento adicional; causar alterações em materiais sensíveis ao calor; e limitação na escolha de materiais de parede, os quais devem possuir baixa viscosidade em concentrações relativamente altas (Mahdavi *et al.*, 2014).

A estabilidade dos óleos essenciais em diferentes condições de processamento e armazenamento também pode ser um desafio, pois fatores como temperatura, luz e oxigênio podem afetar sua composição e qualidade. Portanto, é necessário realizar estudos detalhados para determinar as concentrações ideais, métodos de aplicação e formas de proteção dos óleos essenciais, a fim de maximizar seus benefícios e minimizar suas limitações no uso em alimentos.

Pesquisas envolvendo OEs são realizadas principalmente na intenção de promover uma alimentação segura, com um melhor controle microbiológico, evitando a transmissão de doenças por alimentos (conhecidas como DTAs) (Bellik, 2014; Noshirvani *et al.*, 2017). Os principais constituintes dos óleos essenciais, os metabólitos secundários, podem ter sua produção pelas plantas alterada devido às variações do meio ambiente, tais como: sazonalidade, temperatura, disponibilidade hídrica, altitude, nutrientes, ritmo circadiano e desenvolvimento, o que irá influenciar na atividade biológica do óleo essencial. A alteração do perfil químico faz com que estudos similares, com os mesmos OEs e microrganismos possam apresentar resultados diferentes (Zhao; Rhee, 2022).

Estudos também destacam a maior sensibilidade de bactérias Gram-positivas ao uso de OEs, uma vez que as espécies Gram-negativas vêm demonstrando maior resistência, aumentando a necessidade de promover estudos mais focados no mecanismo de ação dos OEs na estrutura celular dos microrganismos (Santurio *et al.*, 2011; Beraldo *et al.*, 2013; Majolo *et al.*, 2014). A



sensibilidade de um microrganismo a um determinado óleo essencial geralmente é avaliada pela determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM), que representa a menor quantidade do agente capaz de inibir o crescimento microbiano, via técnicas como a diluição em placas ou microdiluição em tubos (Oliveira *et al.*, 2009; CLSI, 2012). Os óleos essenciais apresentam boa atividade antimicrobiana quando a CIM é, em geral, inferior a 25 mg/mL, sendo resultados acima disso pouco promissores para a continuidade do estudo e aplicação do óleo *in situ*.

Produtos naturais como extratos e óleos essenciais são misturas complexas de compostos, assim, ressalta-se a importância de avaliar se o efeito investigado é de algum composto majoritário ou um efeito sinérgico. A avaliação do perfil fitoquímico do óleo utilizado por métodos cromatográficos e/ou espectroscópicos é primordial para identificar os principais constituintes, e estes testes demandam instrumentação de valor consideravelmente elevado, bem como técnicas de fracionamento e purificação, que são demasiadamente demoradas e complexas, para aplicação em novos testes, almejando detectar o composto (ou compostos) responsáveis pela ação antimicrobiana (Nazzaro *et al.*, 2013; Stashenko; Martinez, 2018).

A aplicação de óleos essenciais em alimentos também deve ser realizada com cautela pois, alguns óleos essenciais podem apresentar potencial toxicidade quando utilizados em concentrações elevadas. Testes *in vivo* avaliando doses seguras para administração oral devem ser realizados para garantir a segurança (Stevanović *et al.*, 2018).

Os óleos essenciais são opções mais naturais e benéficas para conservação de alimentos, mas seu alto custo em comparação aos conservantes usuais pode ser um desafio para sua adoção generalizada na indústria alimentícia. Uma das principais razões para o elevado custo dos óleos essenciais é o processo de extração, que exige equipamentos e mão de obra qualificada. Em geral, o rendimento de extração de óleo essencial é relativamente baixo, com valores médios de 0,1% a 5%, com base no peso seco da planta utilizada, o que contribui para o seu preço mais elevado (Başer; Buchbauer 2016; Bazana; Codevilla; Menezes, 2019). No entanto, à medida que a demanda por alimentos mais naturais e saudáveis aumenta, através da crescente preocupação com uma melhor qualidade de vida, é possível que o uso de óleos essenciais se torne cada vez mais viável e acessível.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os óleos essenciais demonstram ser uma alternativa atraente e potencial para aplicação em alimentos e suas embalagens e, novas possibilidades estão sendo buscadas pelos pesquisadores, devido principalmente às suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. No entanto, sua incorporação em alimentos é um desafio devido à volatilidade, susceptibilidade à degradação química e seu aroma e sabor marcantes, bem como o elevado custo. O encapsulamento se mostra como uma abordagem eficaz para superar algumas dessas desvantagens, pois essa estratégia protege o óleo, proporciona uma liberação controlada de compostos ativos e ameniza os odores intensos associados aos óleos essenciais. Mais estudos sobre sistemas alimentares reais são essenciais e necessários para fornecer resultados confiáveis, através de pesquisas sobre as interações desses com o produto alimentício e/ou sua embalagem.

5. REFERÊNCIAS

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v21i1.7740>

v. 21, n. 1 (2024)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

ALANAZI, Saud ; ALNOMAN, Maryam; BANAWAS, Saeed; SAITO, Ryoichi; SARKER, Mahfuzur R. The inhibitory effects of essential oil constituents against germination, outgrowth and vegetative growth of spores of *Clostridium perfringens* type A in laboratory medium and chicken meat. **Food Microbiology**, v. 73, p. 311-318, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.02.003>.

ALIZADEH-SANI, Mahmood; MOHAMMADIAN, Esmail; MCCLEMETS, David Julian. Eco-friendly active packaging consisting of nanostructured biopolymer matrix reinforced with TiO₂ and essential oil: Application for preservation of refrigerated meat. **Food Chemistry**, v. 322, p. 1-9, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126782>.

ANSARIAN, Elham; AMINZARE, Majid; AZAR, Hassan Hassanzad; MEHRASBI, Mohammad Reza; BIMAKR, Mandana. Nanoemulsion-based basil seed gum edible film containing resveratrol and clove essential oil: In vitro antioxidant properties and its effect on oxidative stability and sensory characteristic of camel meat during refrigeration storage. **Meat Science**, v. 185, p. 1-9, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108716>.

ANTIGO, Jessica; CESTARI, Lucineia; SCAPIM, Monica; SIQUEIRA DOS SANTOS, Suelen; MORITZ, Cristiane Mengue Feniman; MADRONA, Grazielle. Clove and cinnamon essential oils in dulce de leche. **Nutrition & Food Science**, v. 47, p. 101-107, 2017. <https://doi.org/10.1108/NFS-03-2016-0036>.

ARIANTO, Anayanti; CINDY, Cindy. Preparation and evaluation of sunflower oil nanoemulsion as a sunscreen. **Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences**, v. 7, n. 22, p. 3757-3761, 2019. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.497>.

ASBAHANI, A. EL; MILADI, K.; BADRI, W.; SALA, M.; ADDI, E.H.Ait; CASABIANCA, H.; MOUSADIK, A. El; HARTMANN, D.; JILALE, A.; RENAUD, F. N. R.; ELAISSARI, A. Essential oils: From extraction to encapsulation. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 483, n. 1, p. 220-243, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.12.069>.

BAKALLI, F.; AVERBECK., S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils: a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.

BALASUBRAMANI, Sundararajan; RAJENDHIIRAN, Thamaraiselvi; MOOLA, Anil Kumar; DIANA, Ranjitha Kumari Bollipo. Development of nanoemulsion from *Vitex negundo* L. essential oil and their efficacy of antioxidant, antimicrobial and larvicidal activities (*Aedes aegypti* L.). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 17, p. 15125-15133, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9118-y>.

BARROS, Nídia Alves de; ASSIS, André von Randow de; MENDES, Marisa Fernandes. Extração do óleo de manjeriço usando fluido supercrítico: análise experimental e matemática. **Ciência Rural**, v. 44, n. 8, p. 1499-1505, 2014. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130917>.



BAŞER, K. Husnun Can; BUCHBAUER, Gerhard. **Handbook of essential oils: science, technology, and applications**. 2. ed. New York: Taylor & Francis Group, LLC, 2016. p. 1128. <https://doi.org/10.1201/9781420063165>.

BATIHA, Gaber El-Saber; BESHBIHY, Amany Magdy; WASEF, Lamiaa G.; ELEWA, Yaser H. A.; AL-SAGAN, Ahmed A.; ABD EL-HACK, Mohamed E.; TAHA, Ayman E.; ABD-ELHAKIM, Yasmina; DEVKATO, Hari Prasad. Chemical Constituents and Pharmacological Activities of Garlic (*Allium sativum* L.): A Review. **Nutrients**, v. 12, n. 3, p. 1-21, 2020. <https://doi.org/10.3390/nu12030872>.

BAZANA, Maiara Taís; CODEVILLA, Cristiane Franco; MENEZES, Cristiano Ragagnin de. Nanoencapsulation of bioactive compounds: challenges and perspectives. **Current Opinion in Food Science**, v. 26, p. 47-56, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.03.005>.

BECERRIL, Raquel; NERÍN, Cristina; SILVA, Filomena. Encapsulation systems for antimicrobial food packaging components: An update. **Molecules**, v. 25, n. 5, p. 1-40, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25051134>.

BELLIK, Yuva. Total antioxidant activity and antimicrobial potency of the essential oil and oleoresin of *Zingiber officinale* Roscoe. **Asian Pacific Journal of Tropical Disease**, v. 4, n. 1, p. 40-44, 2014. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(14\)60311-X](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(14)60311-X).

BERALDO, Carolina; DANELUZZI, Natália Silva; SCANAVACCA, Juliana; DOYAMA, Júlio Toshimi; FERNANDES JÚNIOR, J. Ari; MORITZ, Cristiane Mengue Feniman. Eficiência de óleos essenciais de canela e cravo-da-índia como sanitizantes na indústria de alimentos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 436-440, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000400006>.

BIDUSKI, Bárbara; KRINGEL, Dianini Hüttner; COLUSSI, Rosana; HACKBART, Helen Cristina dos Santos; LIM, Loong-Tak; DIAS, Alvaro Renato Guerra; ZAVAREZE, Elessandra da Rosa. Electrospayed octenyl succinic anhydride starch capsules for rosemary essential oil encapsulation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 300-307, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.203>.

BOSKOVIC, M.; GLISIC, M.; DJORDJEVIC, J.; VRANESEVIC, J.; DJORDJEVIC, V; BALTIC, M. Z. Preservation of meat and meat products using nanoencapsulated thyme and oregano essential oils. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 333, p. 1-6, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012038>.

BRASIL. **Resolução RDC Nº 2, de 15 de janeiro de 2007**. Aditivos aromatizantes produzidos e comercializados nos territórios dos Estados Partes do MERCOSUL. Brasília: Presidência da República, 2007. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2007/rdc0002_15_01_2007.html. Acesso em: 19 de abril de 2023.



CALO, Julianny Rivera; CRANDALL, Philip G.; O'BRYAN, Corliss A.; RICKE, Steven C. Essential oils as antimicrobials in food systems – A review. **Food Control**, v. 54, p. 111-119, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.040>.

CLSI, Clinical and Laboratory Standards Institute - document M07-A9. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute, v. 32, n. 2, 88 p., 2012.

DAS, Sourav; HORVATH, Barbara; SAFRANKO, Silvija; JOKIC, Stela; SZECHENYI, Aleksandar ; KOSZEGI, Tamás K. Antimicrobial activity of chamomile essential oil: Effect of different formulations. **Molecules**, v. 24, n. 23, p. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.3390/molecules24234321>.

DIMA, Cristian; DIMA, Stefan. Essential oils in foods: extraction, stabilization, and toxicity. **Current Opinion in Food Science**, v. 5, p. 29-35, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.07.003>.

DURANGO, Alba Manuela; SOARES, Nilda De Fatima; ARTEAGA, Margarita Rosa. Filmes y revestimientos comestibles como empaques activos biodegradables em la conservación de alimentos, filmes e revestimentos comestíveis como embalagem ativa biodegradável na conservação de alimentos. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 9, n. 1, p. 112-118, 2011.

DURÇO, Bruna Boaretto; TAVARES FILHO, Elson Rogério.; SOARES, Paula Thaís dos Santos; RIBAS, Maria Luiza Queiroz Kanafane; DUARTE, Maria Carmela K. Holanda; ESMERINO, Erick Almeida. Uso de óleos essenciais como alternativa conservante *clean label* em produtos lácteos. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 88-107, 2020.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, Juana; VIUDA-MARTOS, Manuel. Introduction to the special issue: Application of essential oils in food systems. **Foods**, v. 7, n. 4, p.1-4, 2018.

FDA, Food And Drug Administration. CFR – Code of Federal Regulations Title 21. 2019. Disponível em: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=182.20>. Acesso em: 12 mai. 2023.

HADIDI, Milad; POURAMIN, Shiva; ADINEPOUR, Fateme; HAGHANI, Shaghayegh; JAFARI, Seid Mahdi. Chitosan nanoparticles loaded with clove essential oil: Characterization, antioxidant and antibacterial activities. **Carbohydrate Polymers**, v. 236, p. 1-8, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116075>.

HASSOUN, Abdo; ÇOBAN, Özlem Emir. Essential oils for antimicrobial and antioxidant applications in fish and other seafood products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 68, p. 26-36, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.016>.



HERNÁNDEZ, Helga; FRANKOVA, Adéla; KLOUCEK, Pavel; BANOUT, Jan. The effect of the application of thyme essential oil on microbial load during meat drying. **Journal of Visualized Experiments**, v. 2018, n. 133, p. 1-7, 2018. <https://doi.org/10.3791/57054>.

HSOUNA, Anis Ben; HALINA, Nihed Ben; SMAOUNI, Slim; HAMDI, Naceur. Citrus lemon essential oil: Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities with its preservative effect against *Listeria monocytogenes* inoculated in minced beef meat. **Lipids in Health and Disease**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2017. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0487-5>.

KAUR, Malkiet; DEVI, Gayatri; NAGPAL, Manju; SINGH, Manjinder; DHINGRA, Gitika A.; AGGARWAL, Geeta. Antiviral Essential Oils Incorporated in Nanocarriers: Strategy for Prevention from COVID-19 and Future Infectious Pandemics. **Pharmaceutical Nanotechnology**, v. 8, n. 6, p. 437-451, 2020. <https://doi.org/10.2174/2211738508666201016151850>.

KUMAR, Arvind; NARAIAN, Ram. Producers of Bioactive Compounds. In: GUPTA, Vijai Kumar; PANDEY, Anita (orgs.) **New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering**. Amsterdam: Elsevier, p. 205-221, 2019. *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering*.

LAVABRE, Marcel. **Aromaterapia: A Cura Pelos Óleos Essenciais**, Rio de Janeiro: Record, 2019.

LOCALI-PEREIRA, Adilson Roberto; LOPES, Nathalie Almeida; MENIS-HENRIQUE, Michele Eliza Cortazzo; JANZANTTI, Natália Soares; NICOLETTI, Vânia Regina Modulation of volatile release and antimicrobial properties of pink pepper essential oil by microencapsulation in single- and double-layer structured matrices. **International Journal of Food Microbiology**, v. 335, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108890>.

MACCELLI, Alessandro; VITANZA, Luca; IMBRIANO, Anna; FRASCHETTI, Caterina; FILIPPI, Antonello; GOLDONI, Paola; MAURIZI, Linda; AMMENDOLIA, Maria Grazia; CRESTONI, Maria Elisa; FORNARINI, Simonetta; MENGHINI, Luigi; CARAFA, Maria; MARIANECCI, Carlotta; LONGHI, Catia; RINALDI, Federica. *Satureja montana* L. Essential Oils: Chemical Profiles/Phytochemical Screening, Antimicrobial Activity and O/W NanoEmulsion Formulations. **Pharmaceutics**, v. 12, n. 1, p. 1-20, 2020. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12010007>.

MAHDAVI, Sahar Akhavan; JAFARI, Seid Mahdi; GHORBANI, Mohammad.; ASSADPOOR, Elham. Spray-Drying Microencapsulation of Anthocyanins by Natural Biopolymers: A Review. **Drying Technology**, v. 32, n. 5, p. 509-518, 2014. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.839562>.

MAJOLO, C.; NASCIMENTO, V. P.; CHAGAS, E. C. CHAVES, F. C. M. Atividade antimicrobiana do óleo essencial de rizomas de açafrão (*Curcuma longa* L.) e gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) frente a salmonelas entéricas isoladas de frango resfriado. **Revista brasileira de plantas medicinais**, v. 16, n. 3, p. 505-512, 2014. https://doi.org/10.1590/1983-084X/13_109.



MCCLEMENTS, David Julian. Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities. **Soft Matter**, v. 8, p. 1719-1729, 2012. <https://doi.org/10.1039/C2SM06903B>.

MESIC, Aner; MAHMUTOVIĆ-DIZDAREVIĆ, Irma; TAHIROVIC, Emina; DURMISEVIC, Irma; JERKOVIC, Anesa; BEŠTA-GAJEVIC, Renata. Evaluation of toxicological and antimicrobial activity of lavender and immortelle essential oils. **Drug and Chemical Toxicology**, v. 44, n. 2, p. 190-197, 2021. <https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1538234>.

MINOZZO, Mariane; STEFFENS, Juliana; BACKES, Geciane Toniazco; PAROUL, Natalia; CANSIAN, Rogerio Luis. Biological potential and microencapsulation of *Cinnamomum cassia* essential oil as an alternative for pest control in stored maize. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. 1-19, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.22334>.

MORAES-LOVISON, Marília; MAROSTEGAN, Luís F.P.; PERES, Marina S.; MENEZES, Marina S.; GHIRALDI, Marlucci; RODRIGUES, Rodney A. F.; FERNANDES, Andrezza M.; PINHO, Samantha C. Nanoemulsions encapsulating oregano essential oil: Production, stability, antibacterial activity and incorporation in chicken pate. **Food Science and Technology**, v. 77, p. 233-240, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.061>.

NAJJAA, Hanen; CHEKKI, Raja; ELFALLEH, Walid; TLILI, Hajer; JABALLAH, Sana; BOUZOUNITA, Nabiha. Freeze-dried, oven-dried, and microencapsulation of essential oil from *Allium sativum* as potential preservative agents of minced meat. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 4, p. 1995-2003, 2020. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1487>.

NAZZARO, Filomena; FRATIANNI, Florinda; MARTINO, Laura De; COPPOLA, Raffaele; FEO, Vincenzo De. Effect of essential oils on pathogenic bacteria. **Pharmaceuticals**, v. 6, n. 12, p. 1451-1474, 2013. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>.

NEGI, Pradeep Singh. Review: Plant extracts for the control of bacterial growth: Efficacy, stability and safety issues for food application. **International Journal of Food Microbiology**, v. 156, n. 1, p. 7-17, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.03.006>.

NIU, Ben.; YAN, Zhipeng; SHAO, Ping; KANG, i.; CHEN, Hangjun. Encapsulation of cinnamon essential oil for active food packaging film with synergistic antimicrobial activity. **Nanomaterials**, v. 8, n. 8, p. 1-19, 2018. <https://doi.org/10.3390/nano8080598>.

NOSHIRVANI, Nooshin; GHANBARZADEH, Babak; GARDRAT, Christian; REZAEI, Mokarram Reza; HASHEMI, Mahdi; LE COZ, Cédric; COMA, Véronique. Cinnamon and ginger essential oils to improve antifungal, physical and mechanical properties of chitosan-carboxymethyl cellulose films. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 36-45, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.015>.

OLIVEIRA, Thaís de Freitas; FERREIRA, Joilson Silva.; BOA SORTE, Paulo Marcos Fernandes.; REIS, Veronica Massena; BALDANI, José Ivo; SCHWAB, Stefan. Concentração Mínima Inibitória (CMI) de antibióticos para oito estirpes de bactérias diazotróficas da Coleção de Culturas da Embrapa Agrobiologia. Seropédica, **Embrapa Agrobiologia**, 16 p., 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v21i1.7740>

v. 21, n. 1 (2024)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

OMS, Organização Mundial da Saúde. Cancer: Carcinogenicity of the consumption of red meat and processed meat. 2015. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/cancer-carcinogenicity-of-the-consumption-of-red-meat-and-processed-meat>. Acesso em: 24 de abril de 2013.

OUEDRHIRI, Wessal; BALOUIRI, Mounyr; BOUHDID, Samira; MOJA, Sandrine; CHAHDI, Fouad Ouazzani; TALEB, Mustapha; GRECHE, Hassane. Mixture design of *Origanum compactum*, *Origanum majorana* and *Thymus serpyllum* essential oils: Optimization of their antibacterial effect. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 1-9, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.049>.

PATEIRO, Mirian; MUNEKATA, Paulo E S; SANT'ANA, Anderson S; DOMINGUEZ, Rubén; RODRIGUEZ-LÁZARO, David; LORENZO, José M. Application of essential oils as antimicrobial agents against spoilage and pathogenic microorganisms in meat products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 337, p. 1-37, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108966>.

PELISSARI, Franciele M.; GROSSMANN, Maria V. E.; YAMASHITA, Fabio; PINEDA, Edgardo Alfonso G. Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of cassava starch-chitosan films incorporated with oregano essential oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 16, p. 7499-7504, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf9002363>.

PRAKASH, Anand; BASKARAN, Revathy; PARAMASIVAM, Nithyanand; VADIVEL, Vellingiri. Essential oil based nanoemulsions to improve the microbial quality of minimally processed fruits and vegetables: A review. **Food Research International**, v. 111, p. 509-523, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.066>.

RADÜNZ, Marjana; HACKBART, Helen Cristina Dos Santos; CAMARGO, Taiane Mota; NUNES, Camila Francine Paes; BARROS, Felipe Antonio Primon de; MAGRO, Jacir Dal; PAES SANCHES FILHO, Pedro José; GANDRA, Eliezer Avila; RADUNZ, André Luiz; ZAVAREZE, Elessandra da Rosa. Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 330, p. 1-8, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108696>.

RADÜNZ, Marjana; TRINDADE, Maria Luiza Martins da; CAMARGO, Taiane Mota; RADUNZ, André Luiz; BORGES, Caroline Dellinghausen; GANDRA, Eliezer Avila; HELBIG, Elizabete. Antimicrobial and antioxidant activity of unencapsulated and encapsulated clove (*Syzygium aromaticum* L.) essential oil. **Food Chemistry**, v. 276, p. 180-186, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.173>.

RIBEIRO-SANTOS, Regiane; ANDRADE, Marina; SANCHES-SILVA, Ana; DE MELO, Nathália Ramos de. Essential oils for food application: natural substances with established biological activities. **Food and bioprocess technology**, v. 11, n. 1, p. 43-71, 2018.



IBARZ, Albert; AUGUSTO, Pedro E.D. Principles of unit operations in food processing. *In: SANT'ANA, Anderson de Souza. Quantitative Microbiology in Food Processing Modeling the Microbial Ecology*. New Jersey: John Wiley & Sons, p. 68-83, 2017. <https://doi.org/10.1002/9781118823071.ch3>.

SANTURIO, Deise Flores; COSTA, Mateus Matiuzzi da; MABONI, Grazieli; CAVALHEIRO, Carlos Pasqualin; SÁ, Mariangela Facco de; DAL POZZO, Marcelo; ALVES, Sydney Hartz; FRIES, Leadir Lucy Martins. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais de condimentos frente a amostras de *Escherichia coli* isoladas de aves e bovinos. *Ciência Rural*, v. 41, n. 6, p. 1051-1056, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000067>.

SHARMA, Shubham; BARKAUSKAITE, Sandra; JAISWAL, Amit K.; JAISWAL, Swarna. Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*, v. 343, p. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>.

SILVEIRA, Jeniffer Cristina; BUSATO, Nathália Viégas; COSTA, Andréa Oliveira Souza da; COSTA JUNIOR, Esly Ferreira da. Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. *Enciclopédia Biosfera*, v. 8, n. 15, p. 2038-2052, 2012.

SINGH, Yuvraj; MEHER, Jaya Gopal; RAVAL, Kavita; KHAN, Farooq Ali; CHAURASIA, Mohini; JAIN, Nitin K.; CHOUASIA, Manish K. Nanoemulsion: Concepts, development and applications in drug delivery. *Journal of Controlled Release*, v. 252, p. 28-49, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.03.008>.

SILVA, Subramanian; LI, Changzhu; CUI, Haiying; MEENATCHI, Venkatasamy; LIN, Lin. Encapsulation of essential oil components with methyl- β -cyclodextrin using ultrasonication: Solubility, characterization, DPPH and antibacterial assay. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 64, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104997>.

ŠOJIC, Branislav; PAVLIC, Branimir; IKONIC, Predrag; TOMOVIC, Vladimir; IKONIC, Bojana; ZEKOVIC, Zekovic; KOCIC-TANACKOV, Sunčica; JOKANOVIC, Marija; ŠKALJAC, Snežana; IVIC, Maja. Coriander essential oil as natural food additive improves quality and safety of cooked pork sausages with different nitrite levels. *Meat Science*, v. 157, n. 1, p. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107879>.

STASHENKO, Elena E.; MARTINEZ, Jairo René. Identification of Essential Oil Components. *In: HASHEMI, Seyed Mohammed Bagher; KHANEGHAH, Amin Mousavi; SANT'ANA, Anderson de Souza. Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, p. 57-117, 2018.

STEVANOVIĆ, Zora Dajić; BOŠNJAK-NEUMÜLLER, Jasna; PAJIĆ-LIJAKOVIĆ, Ivana.; RAJ, Jog; VASILJEVIĆ, Marko. Essential oils as feed additives: future perspectives. *Molecules*, v. 23, n. 7, p. 1-20, 2018. <https://doi.org/10.3390/molecules23071717>.

TAVARES, Fernanda de Oliveira; PIERETTI, Gabriella Giani; ANTIGO, Jéssica Lorraine; POZZA, Magali Soares dos Santos; SCAPIM, Monica Regina da Silva; MADRONA, Grasielle

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v21i1.7740>

v. 21, n. 1 (2024)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Scaramal. Cobertura comestível adicionada de óleos essenciais de orégano e alecrim para uso em ricota. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 69, n. 4, p. 249-257, 2014. <https://doi.org/10.14295/2238-6416.v69i4.309>.

TOFIÑO-RIVERA, Adriana; ORTEGA-CUADROS, Mailen; HERRERA-HINOJOSA, Belkis Katina; FRAGOSO-CASTILLA, Pedro.; PEDRAZA-CLAROS, Bertilda. Conservación microbiológica de embutido carnico artesanal con aceites esenciales *Eugenia caryophyllata* y *Thymus vulgaris*. **Revista BioAgro**, v. 15, n. 2, p. 30-41, 2017. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(15\).591](https://doi.org/10.18684/bsaa(15).591).

XAVIER, Leandra Oliveira; SGANZERLA, William Gustavo; ROSA, Gabriel Bachega; ROSA, Cleonice Gonçalves da; AGOSTINETTO, Lenita; VEECK, Ana Paula de Lima; BRETANHA, Lizandra Czermainski; MICKE, Gustavo Amadeu; COSTA, Murilo Dalla; BERTOLDI, Fabiano Cleber BARRETO, Pedro Luiz Manique; NUNES, Michael Ramos. Chitosan packaging functionalized with *Cinnamodendron dinisii* essential oil loaded zein: A proposal for meat conservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 169, p. 183-193, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.093>.

YAZGAN, Hatice; OZOGUL, Yesim; KULEY, Esmeray. Antimicrobial influence of nanoemulsified lemon essential oil and pure lemon essential oil on food-borne pathogens and fish spoilage bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, v. 306, p. 1-9, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108266>.

ZHAO, Kangmei; RHEE, Seung Y. Omics-guided metabolic pathway discovery in plants: Resources, approaches, and opportunities. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 67, p. 1-22, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102222>.

