

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA
CURSO DE BIOTECNOLOGIA

ISABELLA FRANCISCO INÁCIO

NANOPARTÍCULAS À BASE DE EXCIPIENTES NATURAIS APLICADAS COMO
SANITIZANTE INDUSTRIAL

UBERLÂNDIA - MG

2022

ISABELLA FRANCISCO INÁCIO

NANOPARTÍCULAS À BASE DE EXCIPIENTES NATURAIS APLICADAS COMO
SANITIZANTE INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado referente ao Curso de Biotecnologia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Biotecnologista.

Orientadora: Dra. Lígia N. de Moraes Ribeiro

UBERLÂNDIA - MG

2022

ISABELLA FRANCISCO INÁCIO

NANOPARTÍCULAS À BASE DE EXCIPIENTES NATURAIS APLICADAS COMO
SANITIZANTE INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
referente ao Curso de Biotecnologia, da
Universidade Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de Biotecnologista.

Aprovado pela Banca Examinadora em __/__/____

Ms. Fernanda Aparecida Longato dos Santos – FAMEV/UFU

Ms. Micaela Guidotti Takeuchi – FAMEV/UFU

Prof^ª. Dra. Lígia Nunes de Moraes Ribeiro – IBTEC/UFU

UBERLÂNDIA - MG

2022

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais eu agradeço:

Em primeiro lugar a Deus que esteve presente sempre ao meu lado e me deu sabedoria para finalizar meu presente trabalho.

A minha orientadora que me acompanhou durante esses meses e me deu todo o auxílio e apoio necessário para a elaboração do projeto e sem ela nada seria possível.

A minha família, em especial aos meus pais que me incentivaram, me apoiaram a cada momento e não permitiram que eu desistisse.

A minha irmã que sempre esteve ao meu lado e sempre me incentivou a ir em frente.

Aos meus amigos, pela compreensão das ausências e pelo afastamento temporário.

Ao meu namorado que entendeu meu tempo limitado durante esse período e me ajudou a manter focada.

Aos meus avós que sempre me apoiaram durante todo o curso na faculdade para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

INÁCIO, Isabela Francisco. **Nanopartículas à base de excipientes naturais aplicadas como sanitizantes**. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

As indústrias, principalmente do ramo alimentício, enfrentam problemas relacionados a contaminação de alimentos (*in natura* e industrializados) e superfícies por diferentes patógenos microbianos. Eles são responsáveis por causarem ao homem transtornos gastrointestinais que podem variar de leve a grave, podendo ocasionar em. Para que o ambiente industrial se torne um local livre de contaminantes, são utilizados agentes físicos e químicos conhecidos como sanitizantes e desinfetantes. Por outro lado, esses produtos estão cada vez mais ineficazes devido a multirresistências das bactérias. Assim, a busca por um sanitizante eficiente ainda é um desafio. A presente revisão de literatura aborda as estratégias nanotecnológicas para combater esses agentes patógenos de origem alimentar. Foram destacadas a utilização de nanoestruturas biopoliméricas que encapsulam óleos essenciais como bioativos. Os resultados são animadores, demonstrando que a nanotecnologia aliada à biotecnologia possibilitou melhorias na atividade antimicrobiana, propriedades estruturais desejáveis, elevado tempo de prateleira e baixo custo de produção. No entanto, são ainda necessários maiores esforços para a compreensão dos mecanismos de ação dos nanossistemas e mais desenvolvimentos na área. A revisão da literatura foi direcionada para elucidar os principais agentes sanitizantes e agentes patogênicos encontrados nas indústrias, os excipientes naturais com atividade contra bactérias patogênicas e as práticas de higiene, assegurando a qualidade dos produtos oferecido aos consumidores.

Palavras-chave: Biopolímeros. Indústrias de alimentos. Nanotecnologia. Óleos essenciais. Sanitização.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivo Geral	9
2.2	Objetivos Específicos	9
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
4	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
4.1	Higiene na indústria de alimentos	11
4.2	Principais agentes sanitizantes na indústria de alimentos	14
4.3	Principais agentes patogênicos na indústria de alimentos	17
4.4	Excipientes naturais com atividade contra bactérias patogênicas da indústria de alimentos	18
4.5	Nanopartículas biopoliméricas que encapsulam OE com atividade antimicrobiana.....	23
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Um dos requisitos básicos a ser garantido no ambiente industrial, independentemente de seu ramo de atuação, é a higiene (FERNANDES; MARTINS, 2022). No que concerne a indústria alimentícia, o controle microbiológico do ambiente e das superfícies se faz imprescindível. Milhões de pessoas do mundo sofrem ou já sofreram algum tipo de doença transmitida por alimentos (DTA). Ela é causada por patógenos encontrados em alimentos diversos e apresentam distintos níveis de severidade. Podendo compreender desde um leve mal-estar até mesmo a morte do infectado (FERREIRA, 2021; DE ARAÚJO, 2021).

A contaminação do produto final pode ocorrer em várias etapas do processo de produção industrial, tais como: contato com utensílios, superfícies e maquinários mal higienizados; origem, transporte e conservação da matéria-prima; má-higienização dos manipuladores (MENEGARO et al., 2016). Geralmente, o material orgânico encontra-se nas diferentes superfícies industriais, fornecendo condições ótimas para a replicação e manutenção dos microrganismos, sendo essencial sua adequada higienização com sanitizantes e desinfetantes (HWANG et al., 2012).

Os sanitizantes e desinfetantes são os produtos empregados no ambiente industrial como métodos de prevenção da contaminação de superfícies (ROMA, 2021). A sanitização é responsável por controlar ou eliminar os microrganismos patogênicos, utilizando processos químicos ou físicos que atuem diretamente na estrutura ou metabolismo desses agentes transmissores de doenças. Os desinfetantes podem atuar como agente físico (radiação solar e calor) ou químico, sendo de origem mineral, sintético ou natural (DOMINGUES, DELA RICCI, ORSI, 2011). O uso desses produtos é indispensável, uma vez que os microrganismos estão presentes no solo, ar e água, em plantas, alimentos e animais. E sendo assim, são capazes de contaminar produtos *in natura* e industrializados, como também seres humanos e animais. Além disso, esta contaminação é aprimorada quando as regras de boas práticas de higiene não são levadas em consideração (ABATI; GELINSKI; BARATTO, 2012). Por isso, para a formulação de desinfetantes e sanitizantes é indispensável a utilização de agentes antimicrobianos, com o objetivo de contribuir com a atividade bactericida do ambiente e superfícies industriais (SILVA, 2012). Portanto, o desenvolvimento de novas moléculas faz-se necessário com o avanço genético dos microrganismos.

A nanotecnologia é uma área inovadora do conhecimento que tem sido exponencialmente empregada no desenvolvimento de formulações nanoestruturadas para diferentes usos (CHAWLA; SIVAKUMAR; KAUR, 2021). Tais sistemas possuem excelentes propriedades estruturais, elevado tempo de prateleira, biocompatibilidade e atividade

terapêutica otimizada, incluindo excelente atividade bactericida contra diferentes espécies bacterianas multirresistentes (RIBEIRO et al., 2020).

As nanopartículas biopoliméricas são formulações coloidais facilmente preparadas, estáveis a temperatura ambiente e viáveis de serem produzidas em larga escala (LIU et al., 2018). Dessa forma, o presente trabalho visou reunir estudos que mostrem que tais sistemas nanoparticulados, principalmente àqueles à base de quitosana, gelatina, caprolactona que encapsulam óleos essenciais (OE) com atividade antimicrobiana poderão atuar como excelentes agentes sanitizantes, na tentativa de aumentar a potência antibiótica contra cepas multirresistentes e biofilmes (forma de vida microbiana séssil), diminuindo a toxicidade e prevenindo também a hidrólise e fotodegradação dos óleos a serem encapsulados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão bibliográfica a partir da avaliação de dados de pesquisas científicas publicadas em revistas especializadas e livros indexados em bases de dados científicas, sobre formulações nanoestruturadas à base de excipientes naturais – biopolímeros e óleos essenciais -que atuem como candidatas promissoras a sanitizantes para controle microbiológico de ambiente industrial.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir e descrever os principais resultados sobre temas pertinentes dentro da sanitização de ambiente industrial como: patógenos microbiano de origem alimentar, sanitização e produtos comerciais; excipientes naturais como biopolímeros e óleos essenciais;
- Relatar as principais nanopartículas poliméricas a serem empregadas como potenciais sanitizantes, com base na literatura específica e indexada em bases de dados científicas;
- Elucidar as vantagens e desvantagens observadas com a utilização nanopartículas poliméricas e óleos essenciais;
- Divulgar os resultados promissores na área e estimular que novas pesquisas sejam realizadas a fim de que tais desenvolvimentos promissores possam, enfim, alcançar o mercado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho realizou um levantamento do estado-da-arte relacionado ao desenvolvimento de sistemas nanoparticulados de origem vegetal, principalmente compostos por biopolímeros, que encapsularam óleos essenciais aplicados como sanitizante na indústria de alimentos. A revisão bibliográfica teve como aporte teórico os dados e discussões presentes em artigos de periódicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses. Foram considerados os trabalhos mais relevantes na área, principalmente aos desenvolvimentos de sistemas nanoparticulados publicados nos últimos 5 anos.

Diferentes bases de dados foram empregadas para a aquisição dos dados, dentre elas: Google Acadêmico (<https://scholar.google.com/>), Scopus (<https://www.scopus.com/>) e Web of Science (<https://clarivate.com/webofsciencelgroup/solutions/web-of-science/>).

A fim de fornecer um racional robusto ao leitor, após a coleta de dados, diferentes subtópicos relacionados aos temas: contaminação na indústria de alimentos, sanitizantes tradicionais, nanotecnologia, excipientes naturais e nanopartículas como antimicrobianos ou sanitizantes foram definidos e explorados. Os principais resultados oriundos da compilação de dados foram sintetizados em tabelas analíticas contendo a composição, tipos de compostos bioativos e atividade bactericida contra diferentes cepas de interesse na indústria de alimentos. Foram também abordados ao longo do trabalho as propriedades estruturais dos nanossistemas desenvolvidos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Higiene na indústria de alimentos

Os investimentos na implementação de novos e mais rigorosos protocolos de higiene na indústria de alimentos são extremamente necessários para atender um mercado cada vez mais exigente. Considerados como os pontos de maior atenção no controle, a superfícies dos equipamentos quando mal higienizadas, tornam-se pontos de contaminação comprometendo a qualidade dos produtos, expondo a saúde do consumidor, além de representar prejuízo financeiro (CAIXETA, 2008).

As superfícies dos equipamentos utilizados nas indústrias de alimentos são das mais variadas naturezas, podendo ser compostas de diferentes materiais, desde que atendam a determinados requisitos para garantir a qualidade final do produto, dessa forma certos critérios devem ser atendidos para que o material a ser utilizado entre em contato com os alimentos sem oferecer nenhum tipo de risco (CAIXETA, 2008). O material deve ser resistente à corrosão, atóxico, não apresentar influência ao produto final, como: transmissão de odores, cores ou manchas, não contribuir para a contaminação do produto final e facilitar a ação de agentes de limpeza e sanitizantes. Uma vez que são ambientes propícios a adesão de colônias bacterianas e a formação de biofilmes por espécies sésseis (DUTRA; ALLES; MARIOT, 2008).

O biofilme bacteriano é caracterizado com uma comunidade microbiológica complexa ou um ecossistema de células aderidas a um substrato, ou aderida entre si e inseridas em uma matriz polissacarídea extracelular de produção própria (CAIXETA, 2008; SALDANHA, 2013). Outros autores caracterizam o biofilme como um agrupamento estrutural de bactérias aderidas umas às outras através de uma matriz extracelular polimérica (BRASÃO, 2017). São constituídos essencialmente por água e os microrganismos representam uma pequena parte, geralmente inferior a 10 % da composição (HOOD; ZOTTOLA, 1997). Uma diversidade de microrganismos possui capacidade se aderir e formar biofilme, sendo diversos os fatores que contribuem para a adesão deste a uma determinada superfície (ARAÚJO, 2021). Dependem principalmente da natureza do substrato e não somente da fisiologia do microrganismo e seus fatores de crescimento. Assim, a limitação do crescimento do biofilme é dada pela disponibilidade de nutrientes e pela propagação das células no interior do biofilme. Sua ocorrência geralmente está associada às falhas nos procedimentos de higienização, permitindo que os resíduos aderidos aos equipamentos e superfícies transformem-se em potencial fonte de contaminação (PARIZZI et al., 2004; MACEDO, 2006; ANDRADE, 2008). Por definição,

entre as contagens de 10^4 UFC cm^{-2} à 10^5 UFC cm^{-2} ocorre o processo de adesão, e contagens superiores a 10^5 UFC cm^{-2} caracterizam a formação de biofilme bacteriano (ANDRADE, 2008).

A contaminação do produto final é caracterizada pela presença indesejada de compostos ou materiais estranhos à natureza do produto, ocorrendo ao serem incorporados ao processo produtivo através de fatores ambientais, como as superfícies de contato e/ou pela manipulação de alimentos (JUNIOR, 2014). Os três principais tipos de contaminantes das superfícies industriais são os contaminantes químicos, físicos e microbiológicos. São originários de subprodutos no processamento de matérias-primas, ingredientes e insumos. Os contaminantes de natureza química podem ser produtos utilizados até mesmo no processo de higienização. Quanto aos contaminantes de natureza física, em sua grande maioria são resíduos sólidos como vidro, pedra e metais, inteiros ou em partes, de agentes intrínsecos e/ou alheios ao alimento (JUNIOR, 2014).

Sendo assim, os contaminantes de natureza biológica podem ser divididos em três grupos: microrganismos patogênicos, saprófitos e os parasitos. Os micro-organismos patogênicos produzem doenças infecciosas em seus hospedeiros em condições favoráveis à sua sobrevivência e desenvolvimento. São capazes de produzir compostos tóxicos transmitidos por alimentos contaminados ou até mesmo por contaminação cruzada, através do contato com superfícies que contenham este patógeno, como a *Escherichia coli* e a *Salmonella* sp. (ALCANTARA; MORAIS; SOUZA, 2012). Por outro lado, os micro-organismos saprófitos são comensais ou decompositores, visto que se alimentam absorvendo substâncias orgânicas geralmente advindas de matéria orgânica em decomposição. Em alguns casos podem ser parasitas facultativos, tais como os fungos do gênero *Armillaria* e larvas da família *Sarcophagidae* (LOUNG et al., 2017). Os microrganismos parasitos, por sua vez, são seres que dependem de seus hospedeiros para sua sobrevivência. Seu objetivo não é matar seu hospedeiro, podendo conviver durante muito tempo sem causar grandes malefícios ou prejudicar as funções vitais de seu hospedeiro, como *Trichinella spiralis*, *Toxoplasma gondii*, *Cryptosporidium parvum*, *Anisakis simplex* (NASCIMENTO, 2019).

Os resíduos que permanecem na linha de produção de indústrias alimentícias formam um meio propício para a proliferação de microrganismos dificultando o contato de agente químicos reduzindo a eficácia de desinfetantes. As etapas de higienização de ambientes industriais levam em consideração as características de solubilidade dos resíduos de alimentos em água ou em detergentes alcalinos e ácidos, sendo os principais resíduos (Tabela 1) os carboidratos, as proteínas e as gorduras (MARRIOTT, 1999).

Tabela 1. Principais resíduos orgânicos, solubilidade, remoção em indústria processadora de carne.

Sujidade	Solubilidade	Remoção	Evitar
Carboidratos	Solúvel em água	Fácil	Caramelização
Proteínas	Pouco solúvel em água e ligeiramente solúvel em soluções alcalinas	Relativamente fácil	Precipitação, coagulação e carbonização
Gordura	Insolúvel em água e em soluções alcalinas ou ácidas	Fácil na presença de tensoativos e água tépida	Polimerização pela ação da temperatura elevada e oxidação

Fonte: Adaptado de KRASZCZUK, 2010.

O grupo mais abundante de interferentes encontrados em fontes naturais são os carboidratos, presentes em animais e plantas, sendo aqueles que apresentam o maior número de formas e participantes de inúmeros ciclos bioquímicos. Seus resíduos não devem ser submetidos a um aumento de temperatura. São de fácil remoção com o uso de água e ação mecânica, ao contrário das proteínas (ANDRADE, 2008).

As proteínas são compostas principalmente por átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio, e um conjunto básico de vinte aminoácidos, arranjados em sequências específicas, sendo pouco solúveis em água. São um dos principais resíduos orgânicos aderidos à superfície de equipamentos e utensílios da indústria de alimentos. Sua remoção é feita com o uso de agentes alcalinos, solubilizando seus resíduos através de reação química, com máxima eficiência em pH mais elevados, onde a molécula de proteína apresenta carga negativa livre, apresentando maior solubilidade em água (ANDRADE, 2008).

As gorduras de origem vegetal e animal são compostas por ésteres de ácidos graxos de alta massa molecular e glicerol. São provenientes da própria matéria-prima ou são adicionadas para proporcionar umectância ao produto final. Por serem insolúveis em água, seu resíduo é de difícil remoção, sendo possível através de transformação química específica como a saponificação e/ou a emulsificação. A saponificação ocorre a partir da adição de uma solução alcalina, formando sabão através da reação entre os ácidos graxos e os agentes alcalinos, solúvel em água e de fácil remoção da superfície (ANDRADE, 2008). A mudança da polaridade dos resíduos gordurosos é denominada de emulsificação. A reação é obtida através de agentes tensoativos, que apresentam em sua composição uma parte hidrofílica que apresenta afinidade por água e outra hidrofóbica que interage com os ácidos graxos da

gordura, que juntos formam um conjunto chamado de micela. A presença destes resíduos orgânicos pode, quando mal higienizados, contribuir para a formação de biofilmes (BERTOLINO, 2010).

A higienização tem o intuito de evitar a contaminação física, química ou microbiológica dos alimentos através da limpeza e desinfecção das superfícies industriais. Normalmente, segue-se uma rota para a obtenção de um alto nível de higiene: pré-lavagem, limpeza, enxague, sanitização e segundo enxague. A primeira etapa do processo é a pré-lavagem, que é realizada somente com água, a fim de remover os resíduos sólidos e também os resíduos hidrossolúveis presentes nas superfícies a serem higienizadas (SPREER, 1999; ANDRADE, 2014). Na etapa de limpeza, os resíduos remanescentes aderidos às superfícies são removidos através do uso de soluções detergentes, impedindo que as sujidades voltem a depositar-se por meio de dispersão do solvente. Caso a limpeza seja efetuada de forma correta, levando em consideração as características dos resíduos, do detergente e do material da superfície de aplicação, ocorrerá a quebra da matriz exopolissacarídea associada aos biofilmes permitindo o acesso e remoção de aproximadamente 90 % dos microrganismos que se encontram na superfície dos equipamentos (SREY; JAHID; HA, 2013). A execução do enxague realizada após a limpeza, usualmente efetuada a temperaturas acima de 70 °C, visa a remoção dos resíduos orgânicos e dos componentes utilizados para limpeza, favorecendo a eliminação de microrganismos e a evaporação da água (GERMANO; GERMANO, 2008). Os sanitizantes e desinfetantes são agentes empregados na prevenção e controle da contaminação de superfícies (ROMA, 2021). A destruição dos microrganismos patogênicos é feita a partir da sanitização com agentes físicos e/ou químicos, reduzindo a ação dos deteriorantes nas superfícies de contato com os alimentos até níveis considerados seguros. A depender do tipo de sanitizante, faz-se necessário um novo enxágue e para o sucesso da sanitização. A etapa de limpeza deve ser realizada com extrema eficiência. Caso não sejam removidos os resíduos orgânicos dos equipamentos, pode ocorrer a redução da ação antimicrobiana de quase todos os tipos de sanitizantes (BAPTISTA, 2003; GERMANO; GERMANO, 2008).

4.2 Principais agentes sanitizantes na indústria de alimentos

Os produtos usados na sanitização, chamados de sanitizantes, devem apresentar baixa toxicidade e corrosividade, alta estabilidade, rapidez e eficiência na destruição dos microrganismos, além de necessitarem de aprovação por um órgão competente (ANDRADE, 2008; HOFFMANN, 1995). A grande responsável pela fiscalização desses produtos é a

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), órgão que atua no registro e notificação dos saneantes e desinfetantes antes que eles sejam liberados para o mercado, visando os critérios de qualidade para que proporcionem efetividade e segurança dos produtos ao consumidor final (QUEIROZ et al., 2021; ANVISA, 2021).

Os sanitizantes podem ser classificados como físicos ou químicos e possuem vários mecanismos de ação, como: alteração da pressão osmótica, lesão irreversível na estrutura celular, bloqueio da membrana, coagulação das proteínas celulares e dissolução de substâncias celulares dos micro-organismos. Porém, vale ressaltar que a devida ação dos sanitizantes depende de muitas variáveis, já que o tempo, temperatura de contato, concentração dos resíduos, pH, tipo de microrganismos, características de superfície, propriedades da água e substâncias inativadoras, são fatores que alteram a qualidade da sanitização (ANDRADE, 2008; GERMANO; GERMANO, 2014).

Um dos métodos de sanitização mais simples e amplamente utilizado é o calor. Tal agente físico atua por desnaturar as proteínas, inativar as enzimas e desorganizar os lipídios de membranas celulares, sendo extremamente funcional. O uso do calor como sanitizante pode ser realizado com água em forma líquida aquecida, vapor de água ou ar quente. É importante que a temperatura esteja por volta de 90 °C e que fique em contato com a superfície pelo tempo de 1 minuto (vapor de água) ou de 30 minutos (ar quente) (SPREER, 1991; ANDRADE, 2008). Como agente físico de sanitização também é possível citar a radiação ultravioleta, que é realizada por lâmpadas que emitem radiação no comprimento de 260 nm e são capazes de eliminar os microrganismos (GUEDES et al., 2009).

Já como agentes químicos que atuam na sanitização, temos o gás ozônio, que inativa as enzimas por oxidar os grupos sulfidrilas de aminoácidos e por liberar os constituintes do citoplasma através da oxidação de lipídios da membrana celular. Também com ação oxidante tem-se o peróxido de hidrogênio, que irá liberar oxigênio entre concentrações 0,3 % e 6 %, pH 4,0 e temperatura entre 25 °C e 80 °C (ANDRADE, 2008). Com atividade química na sanitização ainda temos os iodóforos, compostos fenólicos, álcoois, compostos clorados, compostos de amônia quaternária e clorexidina. Os compostos clorados são os agentes químicos considerados mais eficazes, e, sendo assim, mais utilizados. Apresentam baixo custo e são eficientes contra bactérias, leveduras, fungos filamentosos e esporos (a depender do pH). Porém, uma de suas desvantagens é por causar manchas facilmente, principalmente em superfícies de plástico (SREY; JAHID; HA, 2013).

Há uma diferença entre limpeza e sanitização, pois na primeira o objetivo é a remoção de resíduos orgânicos e minerais aderidos às superfícies, formados principalmente por

proteínas, gorduras e sais minerais, com a utilização de detergentes ácidos e alcalinos. E já na sanitização, a eliminação de micro-organismos patogênicos ocorre através da aplicação de agentes à base de diversos compostos químicos, como o hipoclorito de sódio (ROSSI; PORTO, 2000). O uso desses produtos é indispensável, uma vez que esses agentes estão presentes no solo, ar e água, em plantas, alimentos e animais. E sendo assim, são capazes de contaminar tanto produtos *in natura* quanto produtos industrializados, como também seres humanos e animais. Além disso, esta contaminação é aprimorada quando as regras de boas práticas de higiene não são levadas em consideração (ABATI; GELINSKI; BARATTO, 2012).

Por outro lado, para serem utilizados na sanitização, os compostos detergentes precisam se enquadrar em alguns requisitos, como: ser atóxico, biodegradável, possuir dissolução rápida e completa na água, ser fácil de enxaguar, neutralizar a dureza da água e manter a sujidade em suspensão. Além disso, é destaque possuir um preço acessível, boa capacidade de saponificação e emulsificação, não ser corrosivo, boa molhabilidade, solubilizar proteínas, manter resíduos em suspensão e diminuir a tensão superficial (EVAGELISTA, 1987; BATISTA, 2003). Os detergentes, por suas diversas características e diferentes meios de promover a remoção de sujidades, são classificados em seis grupos, sendo eles: agentes ácidos, agentes alcalinos, agentes sequestrantes, fosfatos, tensoativos e enzimas (ATHAYDE, 1998). O primeiro grupo, agentes ácidos, possui como principal característica a remoção de sais minerais de uma superfície, que ocorre por meio de reações químicas (ANDRADE, 2008; GERMANO; GERMANO, 2011). Já o segundo grupo, os agentes alcalinos, que possui como característica a liberação de hidroxilas (OH), é destaque por causar a solubilização dos resíduos de proteínas e saponificação dos ácidos graxos (ANDRADE et al., 2014). Já os detergentes conhecidos como agentes sequestrantes, possuem a função principal de controlar os depósitos de minerais nas superfícies, porém, por possuírem elevado custo, somente são utilizados em casos muito específicos. Assim, sucessivamente, cada grupo de detergente possui uma principal funcionalidade e característica que irá auxiliar na limpeza de diversas superfícies (ANDRADE et al., 2014).

Para a escolha do desinfetante/sanitizante ideal deve-se levar em conta características como: atividade germicida, viabilidade econômica (custo & benefício), biocompatibilidade, estabilidade físico-química, solubilidade em água, propriedades organolépticas, fácil manipulação, elevado poder de penetração, rapidez de ação, não ser corrosivo e ser biodegradável (DOMINGUES; DELA RICCI; ORSI, 2011). No Brasil, os agentes

sanitizantes comerciais mais empregados nas indústrias alimentícias são o hipoclorito de sódio (HS) e o ácido peracético (APA).

Nesse sentido, o HS é o composto mais utilizado pelas indústrias como sanitizante de superfícies. Possui características como baixo custo, e disponibilidade no comércio aliado à sua alta eficiência. No Brasil, ele é o único agente sanitizante permitido pela legislação na concentração de até 2,5 % (MALTA et al., 2020). No entanto, o HS apresenta desvantagens como: forte odor (alguns produtos são fabricados com inibidores de odor, a fim de contornar tal limitação), ineficácia em presença de vasto volume de matéria orgânica ou espécies bacterianas multirresistentes, instabilidade físico-química, possibilidade de gerar irritações na pele, principalmente se seu manuseio não estiver de acordo com as normas do fabricante. É fundamental o uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPI) pelos manipuladores e necessidade de ventilação adequada do ambiente (FREITAS et al., 2019).

O APA (0,8 %) é o segundo produto mais utilizado industrialmente, devido a sua ação desinfetante, que é baseada na oxidação dos componentes celulares. Isto é, atua na liberação do oxigênio ativo que interage com as ligações de enxofre nas proteínas, enzimas e outros metabólitos dos microrganismos. Ele também é capaz de inibir o transporte por lipoproteínas e romper a membrana citoplasmática bacteriana. Pode também agir sobre as bases nitrogenadas da molécula de DNA. Quando corretamente manipulado, apresenta ação efetiva contra a matéria orgânica (NASCIMENTO et al., 2015). Embora o APA seja muito utilizado para a assepsia do ambiente industrial alimentício, ele apresenta uma série de limitações, dentre as quais: pode provocar irritação nos olhos e trato respiratório, torna-se instável quando é diluído e a sua atividade é reduzida quando ocorre a modificação do pH do meio (PIMENTEL et al., 2020). Assim, o APA e HS quando empregados nas concentrações recomendadas pelos fabricantes, são instáveis em temperatura ambiente, podem ser tóxicos para os manipuladores, além de causar corrosão dos maquinários (ABATI; GELINSKI; BARATTO, 2012).

4.3 Principais agentes patogênicos na indústria de alimentos

Existe uma grande diversidade de bactérias patogênicas resistentes aos agentes antimicrobianos com a capacidade de formar biofilmes. Isto significa que tais microrganismos apresentam a capacidade de adesão à diferentes superfícies industriais, hospitalares, alimentícias, ou seja, sólidas em geral, organizando-se em uma matriz complexa e auto protetiva (CASTELLANE; PIRES; ROSA, 2017). Tais formas sésses são as mais difíceis de

serem eliminadas, apresentando elevada resistência aos sanitizantes e desinfetantes comerciais. Os principais microrganismos altamente patogênicos capazes de se organizarem em biofilmes no ambiente industrial são a *Campylobacter sp.*, *Salmonella sp.* e *Staphylococcus aureus* (HWANG et al., 2012).

Desde 2008, o Brasil é o maior exportador e o segundo maior produtor mundial de carnes de frango de corte. A bactéria *Campylobacter jejuni* é principalmente encontrada nas aves e frango de corte (RIBEIRO et al., 2021). Ela é responsável pela campilobacteriose humana, que pode causar desde sintomas leves como a diarreia (às vezes sanguinolenta), febre, cólicas estomacais, náuseas e vômitos, ou em casos mais raros, pode causar a síndrome de Guillain-Barré e até mesmo a morte (PERES, 2020). Outra espécie bacteriana que também é encontrada na carne de frango e ovos, representando um grande problema para sua comercialização, é a *Salmonella spp.* Algumas cepas são também capazes de se organizar em biofilmes em materiais presentes no ambiente industrial como o aço inoxidável, além de exibir multirresistência contra os antibióticos tradicionalmente empregados (MORAES et al., 2019; RIBEIRO et al., 2020). De maneira similar, o *Staphylococcus aureus* tem sido largamente descrito como o patógeno responsável pela contaminação das indústrias de laticínios. Ele é um dos agentes etiológicos mais comuns responsáveis pelas infecções intramamárias em rebanhos leiteiros (PACHA et al., 2021). Além disso, o *S. aureus* é também capaz de se organizar em biofilme, aderindo e deteriorando superfícies como o aço inoxidável das indústrias de laticínios (BOARI et al., 2009). Considerando as diversas limitações dos sanitizantes industriais comercialmente disponíveis, todas as espécies bacterianas supramencionadas representam um verdadeiro desafio quanto à sua eliminação eficaz e segura dentro do ambiente industrial.

Portanto, o desenvolvimento de novos compostos com amplo espectro de ação como sanitizantes é extremamente necessário, a fim de que os produtos industriais, principalmente àqueles inerentes à indústria de alimentos, possam ser comercializados e consumidos de maneira segura.

4.4 Excipientes naturais com atividade contra bactérias patogênicas da indústria de alimentos

Em 1832, o químico alemão Jöns Jacob Berzelius na tentativa de diferenciar moléculas orgânicas com a mesma composição, porém, com propriedades químicas diferentes, criou o termo polímero (HAGE-JÚNIOR, 1998; PITT; BOING; BARROS, 2011;

FARIAS, 2016). Segundo Brown; Lemay; Bursten (2005), os polímeros podem ser classificados como naturais e sintéticos. Os polímeros sintéticos são compostos por insumos químicos provenientes do petróleo através de reações em escala laboratorial (PITT; BOING; BARROS, 2011). São a base para a produção de plástico, a degradação do material é lenta e pode levar até 500 anos, sendo um agravante para a produção do material. Diante disto, torna-se mais atrativo a busca por polímeros biodegradáveis como alternativa para a diminuição dos impactos gerados, uma vez que possibilitam manter propriedades semelhantes ao plástico de petróleo porém com menor tempo de degradação (MARIANO-TORRES; LÓPEZ-MARURE; DOMIGUEZ-SÁNCHEZ, 2015).

Os polímeros naturais (biopolímeros) são formados durante o ciclo de crescimento de organismos vivos. São sintetizados a partir de reações catalisadas por enzimas e reações de crescimento de cadeia através de ativação de monômeros. São produzidos dentro das células por processos metabólicos complexos (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006). As fontes geotérmicas são exemplos de formação de biopolímeros pela água superaquecida envolvendo reações envolvendo ciclos de hidratação e desidratação. Os biopolímeros também são formados nos seres vivos a partir da reação de hidrólise da adenosina trifosfato (ATP), que se transforma em adenosina monofosfato (AMP) dando origem aos ácidos nucleicos (ZAIA, 2003). O diferencial para a busca e produção de novos materiais biopoliméricos são suas características como a disponibilidade de baixo custo, baixa toxicidade, biodegradabilidade e facilidade de derivação, tornando os biopolímeros com alta aplicabilidade, sendo processados desde materiais simples até componentes para uso na aviação e medicina (VANDAME et al., 2002). A Tabela 2 apresenta os principais biopolímeros e suas diversas aplicações descritas na literatura. Em geral, tais biomateriais são obtidos a partir de algas marinhas, plantas e bactérias e apresentam diversas aplicações. Apesar de ainda escassos, existem relatos a respeito do desenvolvimento de nanopartículas biopoliméricas de composição variada para incorporar um determinado ativo, tendo como estratégia a liberação sustentada e baixa toxicidade (DE FARIAS, 2016).

Tabela 2. Principais tipos de biopolímeros suas aplicações de interesse para a Indústria de Alimentos.

Polímero	Fonte	Aplicação	Referência
Amido	Arroz, Batata	Melhoramento de gel	(LIN et al., 2016)
		Nanocompósito	(HAMIDIAN; TAVAKOLI, 2016)
		Nanopartícula	(NAJAFI et al., 2016)
Celulose	Plantas	Nanocompósito	(DENG et al., 2016)
		Nanofibra	(HUANG et al., 2016)
		Biomaterial para liberação de Drogas	(BEZERRA et al., 2016)
Ágar	Algas Marinhas	Gel	(BILAL et al., 2016)
		Nanopartícula	(PEDRA et al., 2016)
		Filme	(VEJDAN et al., 2016)
Dextrana	Bactérias	Nanopartícula	(BARNERJEE et al., 2016)
		Nanocarregador	(KIANI et al., 2016)
		Sinalizador de Proteínas	(REYES et al., 2016)
Quitosana	Exoesqueleto de Crustáceos	Filme	(ALJAWISH et al., 2016)
		Nanopartícula	(WANG et al., 2016)
		Nanocompósito	(ANSARI et al., 2016)
		Nanocarregador	(WU et al., 2016)
Alginato	Algas Marinhas	Nanopartícula	(HUANG et al., 2016)
		Hidrogel	(PADOL et al., 2016)
		Filme	(SHANKAR et al., 2016)
Carragena	Algas Marinhas	Nanocompósito	(DUMAN et al., 2016)
		Hidrogel	(ARANILLA et al., 2016)
		Nanopartícula	(LONG et al., 2016)
Gelatina	Desnaturação do Colágeno	Gel	(MORALES et al., 2016)
		Nanofibra	(STEYAERT et al., 2016)
		Filme	(TENG et al., 2016)
Lignina	Plantas	Polióis e Espumas	(MAHMOOD et al., 2016)
		Hidrogel	(NAKOSONE et al., 2016)
		Nanofibra	(DELGADO-AGUILAR et al., 2016)

Fonte: FARIAS et al., 2016 (Adaptado).

O alginato (ALG) é um biopolímero de estrutura composto por um copolímero linear polianiônico de resíduos de ácido 1,4-ligado-gulurônico e ácido d-manurônico encontrados em algas marrons. Suas moléculas são capazes de formar uma estrutura reticulada quando em contato com íons Ca^{2+} . O gel de ALG pode ser usado para produzir sistema de nanopartículas de liberação sustentada para vários medicamentos, proteínas e até mesmo células (CHOURASIA; JAIN, 2004; REIS et al., 2006; MOKHENA et al., 2017; TREENATE;

MONVISADE, 2017). É considerado um agente mucoadesivo adequado em comparação com polímeros como o poliestireno, quitosana, carboximetilcelulose, uma vez que se trata de um copolímero aniônico com grupo de carboxilas terminais. O ALG melhora a biodisponibilidade e eficácia dos produtos uma vez que suas partículas se aderem aos tecidos da mucosa, aumentando o tempo de residência do sistema, e, conseqüentemente, a eficácia (REZOTTI; CURY; EVANGELIS, 2014; SILVA; NASCIMENTO, 2015).

A quitosana (QUIT) é um biopolímero composto por um copolímero linear formado através de ligações β 1-4, conta predominantemente com unidades de 2-amino-2-deoxi-D-glicopirranose (RIBEIRO et al., 2017). É um biopolímero catiônico presente nas carapaças de crustáceos e de moluscos. Além de ser um composto abundante, biocompatível e barato, suas intrínsecas propriedades bactericida e antifúngica são exploradas pelas indústrias farmacêutica, cosmética, ambiental, química e alimentícia há quase 100 anos (CAMPOS et al., 2018). Em seu trabalho intitulado “Produção e avaliação de micropartículas de ALG contendo bacitracina de zinco, berberina e nitroprussiato de sódio recobertas por QUIT para tratamento de bacterioses extraídas de peixes”, Barbizan (2019) desenvolveu sistema de entrega de fármacos à base do complexo eletrólito alginato-quitosana. Os autores observaram que os testes *in vitro* realizados com as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* isoladas de espécimes coletados em tanques de criação demonstraram que os fármacos encapsulados por partículas de ALG-QUIT apresentaram tanto efeitos bacteriostáticos como bactericidas melhorados.

Por outro lado, os óleos essenciais (OE) são compostos lipídicos naturais oriundos do metabolismo secundário das plantas. São complexas estruturas biologicamente ativas, apresentando reconhecida atividade antibacteriana, antifúngica e antitumoral (RIBEIRO et al., 2021). Seu crescente uso como antimicrobiano natural tem apresentado grande interesse em diferentes áreas, desde agentes sanitizantes e desinfetantes, medicamentos, nutracêuticos até mesmo como cosméticos (ANDRADE et al., 2012). Adicionalmente, eles têm atuado com sucesso como antibióticos eficazes contra diversos patógenos de origem alimentar (BARKY et al., 2016). Diferentes OE já são empregados na avicultura, por exemplo, dado à sua expressiva atividade contra cepas Gram-negativas e biocompatibilidade (ZHAI et al., 2018.). O OE de sálvia (*Salvia officinalis*) é um composto multiterpênico com atividade anti-inflamatória, bactericida e analgésica. Ele mostrou-se promissor na inibição do crescimento de cepas de *Campylobacter* sp. e *Salmonella* sp. em testes microbiológicos *in vitro* (DULETIĆ-LAUŠEVIĆ et al., 2018). Além disso, o OE de olíbano foi nanoencapsulado por

nanopartículas lipídicas exibindo atividade bactericida contra diferentes cepas bacterianas, tanto na forma livre quanto sésseis (biofilme) (RIBEIRO et al., 2021). Beraldo et al. (2013), comparou a concentração inibitória mínima (CIM) dos OE de cravo-da-índia e canela contra bactérias Gram positivas (*Staphylococcus aureus* e *Listeria monocytogenes*) e Gram negativas (*Escherichia coli* e *Salmonella* sp.) com os valores da CIM do HS. Foram também determinadas CIM dos OE contra *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* e *Salmonella* sp. Os principais resultados obtidos estão descritos na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3. Concentração inibitória mínima (CIM; v/v) do hipoclorito de sódio, óleo essencial (OE) de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) e cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*).

Bactéria	OE Canela	OE Cravo da Índia	Hipoclorito de Sódio
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,04 %	0,06 %	> 0,2 %
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,04 %	0,08 %	> 0,2 %
<i>Escherichia coli</i>	< 0,02 %	0,06 %	> 0,2 %
<i>Salmonella</i> sp.	< 0,02 %	0,04 %	> 0,2 %

Fonte: BERALDO et al., 2013 (Adaptado).

Os autores concluíram que os OE de canela e cravo-da-índia mostraram-se mais eficientes que o HS na inibição das bactérias em estudo, através do método da microdiluição. Foi observado que é possível a aplicação dos OE como princípios ativos de sanitizantes poderá ser uma estratégia promissora, em função de menores concentrações necessárias para a inibição microbiana. Todavia, faz-se necessária a continuidade de pesquisas sobre as interferências sensoriais dos OEs em alimentos.

No entanto, o emprego dos OE como sanitizantes é ainda limitado, devido a sua insolubilidade em água, volatilidade, fotossensibilidade, sabor e odor marcantes, elevado pH e capacidade de oxidação (ALTINTAS et al., 2013). Para superar tais limitações, a incorporação de OE em matrizes poliméricas, micro ou nanoencapsulação por sistemas carreadores parecem ser alternativas promissoras contra tais limitações (ODEH et al., 2014; RIBEIRO et al., 2021).

4.5 Nanopartículas biopoliméricas que encapsulam OE com atividade antimicrobianas

As nanopartículas biopoliméricas (Np) são nanocarreadores inovadores capazes de encapsular moléculas hidrofílicas e hidrofóbicas com atividade antimicrobiana, a serem empregadas como futuros sanitizantes. São sistemas versáteis, simples e baratos de serem obtidos e altamente escalonáveis com excelente tempo de prateleira, sendo armazenados em temperatura ambiente. Podem ser preparados por diferentes métodos, dependendo da característica físico-química de cada matriz biopolimérica. Apresentam cargas elétricas globais positivas (catiônicos) como as Np de quitosana, negativas (aniônicos) como as Np de alginato, pectina e gelatina, ou ainda serem neutros, como ocorre com as Np de amido. Tais características tornam tais sistemas atraentes para diferentes aplicações no controle, profilaxia e sanitização de ambientes industriais (SPIRESCU et al., 2021).

As Np biopoliméricas são sistemas matriciais que apresentam os ativos dispersos em toda a matriz estrutural das nanopartículas. São, na maioria das vezes, obtidas por processos de reticulação iônica ou covalente (RIBEIRO et al., 2017). Por outro lado, as nanocápsulas poliméricas (Nc) são sistemas do tipo casca-carço. O interior da Np é composto por um núcleo oleoso contendo os bioativos hidrofóbicos recobertos por uma casca polimérica (CAMPOS et al., 2018). Ambos os sistemas apresentam excelente estabilidade físico-química, tamanho de partícula entre 200-400 nm e com distribuição ligeiramente homogênea. Os valores de potencial Zeta mantém-se estáveis ao longo do tempo, garantindo a estabilidade dos sistemas (RIBEIRO et al., 2017). Ambos os sistemas de Np e Nc carreando OE têm sido descritos, ainda de maneira incipiente, como formulações antimicrobianas de interesse na área de alimentos. O Esquema representativo da organização supramolecular das Np e Nc pode ser apreciado na Figura 1.



Figura 1. Ilustração esquemática da organização supramolecular de Nanopartículas (Np) e Nanocápsulas (Nc) Poliméricas que encapsulam óleos essenciais (OE).

Embora os mecanismos de ação das Np e Nc ainda não tenham sido completamente elucidados, sabe-se que as Np são capazes de penetrar e romper a membrana celular microbiana e induzir efeitos antimicrobianos intracelulares como: produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), interação com DNA e RNA bacteriano, inativação de enzimas, diminuição da permeabilidade celular e liberação de íons metálicos (LAM et al, 2018). Portanto, a atividade antimicrobiana das Np e Nc biopoliméricas está diretamente correlacionada com algumas propriedades estruturais e físico-químicas, como o tamanho e distribuição das partículas, morfologia, composição e valores de potencial Zeta (carga elétrica resultante da diferença de mobilidade eletroforética) das Np (GARLAND; LOSCHER; BOGYO, 2017). Nesse sentido, nos últimos anos tem sido destinada uma atenção especial para antimicrobianos nanoestruturados de origem biopolimérica, devido às suas vantagens em detrimento de outros sistemas, como uma solubilização de diferentes ativos e eficiente taxa de encapsulação, propriedade de fixação de superfície, terapia sinérgica graças à atividade terapêutica intrínseca como antifúngica e bactericida, direcionamento para aplicação contra patógenos específicos, biocompatibilidade e biodegradabilidade (OMEROVIĆ et al., 2021).

As Np e Nc biopoliméricas que encapsulam OE fornecem a funcionalidade de liberação sustentada, uma vez que protegem os bioativos servindo como barreira com o ambiente e seus fatores como luz, oxigênio e pH, preservando suas propriedades organolépticas e físicoquímicas. Segundo Idris et al. (2015), os nanocarreadores quando associados a bioativos como OE, podem aumentar o potencial antimicrobiano, visto que eleva

as interações celulares entre os compostos e as bactérias, além de exibirem uma elevada área superficial externa para interagirem com o alvo, dado ao seu tamanho nanométrico.

Costa (2020), descreveu em seu trabalho que os compostos bioativos encontrados no OE de *Piper nigrum* apresentaram diversas atividades biológicas, como anti-inflamatória, antioxidante, antibactericida, antifúngica e inseticida, mas que foram limitados pela volatilidade e rápida degradação do OE. E com o objetivo de superar esses e outros obstáculos, prolongar a eficácia dos compostos ativos e caracterizar as nanopartículas poliméricas biodegradáveis, foram preparadas Nc biodegradáveis compostas por uma blenda¹ entre gelatina e a poli- ϵ -caprolactona (PCL) encapsulando o OE. A Np controle apresentou um tamanho médio de 285 nm com PDI de 0,18. Já a Np carregada com OE apresentou tamanho médio de 316 nm com PDI de 0,2. Esses valores encontrados, estão de acordo com os valores citados por Schaffazick (2003), que estabelece que nanopartículas que apresentam diâmetros médios inferiores a 300 nm e PDI iguais ou abaixo de 0,2 apresentam uniformidade e uma boa estabilidade na forma de sistema coloidal. A análise do potencial Zeta foi utilizada com o intuito de avaliar a estabilidade eletrostática do sistema de nanopartículas controle e de nanopartículas carregadas com OE da *P. nigrum* (NP-OE). A tabela 4 apresenta os valores de carga superficial (Potencial Zeta e Condutividade) com variação de pH.

Tabela 4. Valores de potencial Zeta (mV) e de condutividade (ms/cm^{-1}) das nanopartículas controle (NP) e Np encapsulando OE de *P. nigrum* (Np-OE) em diferentes pH.

Características	NP			NP-OE		
	4	6	10	4	6	10
pH	4	6	10	4	6	10
Potencial Zeta (mV)	-36,5	-35,1	-33,6	-36,3	-36,8	-43,5
Condutividade (ms/cm^{-1})	0,052	0,051	0,049	0,045	0,056	0,058

Fonte: COSTA, 2020 (Adaptado).

A análise do Potencial Zeta em função do pH mostrou que as nanopartículas carregadas possuem, em módulo, maior carga superficial no pH básico. Já a Np controle apresentaram seus maiores valores em pH ácido. Assim, a maior carga superficial (em módulo) das nanopartículas carregadas pode ser atribuída à presença do OE, contribuindo para sua estabilização. Os valores negativos do potencial Zeta são devido à presença de radicais carboxílicos presentes na estrutura polimérica (SILVA, 2019). Conforme Roland et al. (2003),

¹**Blenda** é o termo utilizado para descrever a mistura física de dois ou mais polímeros, sem reação química intencional entre os componentes (LUNA et al., 2015)

valores iguais ou maiores a 30 mV (em módulo) são importantes para a estabilidade físico-química de uma solução coloidal, pois indica que a força repulsiva da dupla camada iônica é superior à força atrativa de van der Waals, evitando uma possível floculação. Logo, as partículas que apresentam um valor em módulo de Potencial Zeta elevado, repelem-se com muita força, evitando a agregação no sistema (ROLAND, 2003). Cabe ressaltar que todas as Np apresentaram excelentes valores de Zeta em todas as condições de análise. Foi também determinada a eficiência de encapsulação (%EE) de OE da *Piper nigrum*. Foi observado um valor de %EE de 95,8 % para a Np com OE. Após 6 meses, a formulação ainda apresentava uma excelente taxa de %EE de 81,0 %, revelando que o método utilizado foi altamente eficiente no encapsulamento do OE. Os autores concluíram que a formulação de Np representa uma alternativa eficaz no uso do OE de *Piper nigrum*.

Boyas et al. (2017), relataram pela primeira vez a incorporação de OE de limão em Np e Nc de quitosana, descrevendo a atividade antibacteriana combinada, em seu artigo “*Physicochemical characterization of chitosan nanoparticles and nanocapsules incorporated with lime essential oil and their antibacterial activity against food-borne pathogens*” publicado na revista FWT - Food Science and Technology (2017). Neste artigo, os autores descreveram propriedades fungicidas e antibacterianas reconhecidas do OE limão e sua encapsulação por de Nc e Np de quitosana. Eles objetivaram superar a alta volatilidade do OE e aumentar sua eficácia, além de fornecer estabilidade físico-química para o sistema. As Np e Nc resultantes dessa associação foram avaliadas quanto à atividade antibacteriana contra quatro patógenos de origem alimentar sendo eles: *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Shigella dysenteriae* e *Staphylococcus aureus*. Foi observada que a atividade bactericida contra *Shigella dysenteriae* foi maior para as Np do que para Nc de quitosana encapsulando OE de limão. As Nc apresentaram um valor de halo de inibição (HI) de 3,5 cm para 40 mL de concentração inibitória mínima (MIC). Tais sistemas demonstraram estarem aptos para serem futuramente aplicados em revestimentos ou embalagens na indústria de alimentos, a fim de prevenir a contaminação de patógenos de origem alimentar em alimentos (Boyas et al. 2017).

Donsi et al. (2011) relataram que os compostos voláteis D-Limonene nanoencapsulados por Np de quitosana apresentou tamanho de partícula de 365,0 nm e eficiência de encapsulação de 90,0 %, exibiram atividade antibacteriana *in vitro* melhorada contra as bactérias de origem alimentar como a *Escherichia coli*, avaliadas através de alteração mínima das propriedades organolépticas dos alimentos tratados. Jamil et al. (2016) estudaram a eficácia antimicrobiana do OE de cardamomo encapsulado em Np à base de quitosana e relataram que o óleo encapsulado apresenta excelente potencial antimicrobiano

contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, com tamanho de partícula de 295,0 nm e potencial Zeta de 50,0 mV. A Tabela 5 sintetiza as produções científicas disponíveis a respeito da eficácia de OE nanoencapsulados por distintos sistemas poliméricos com atividade contra diferentes patógenos de origem alimentar analisadas in vitro.

Tabela 5. Eficácia de óleos essenciais de plantas nanoencapsulados e seus compostos bioativos como conservantes de alimentos.

ÓLEOS ESSENCIAIS E BIOATIVOS COMPOSTOS	AGENTE ENCAPSULANTE	NANOCARREADORES	MICROORGANISMOS ALVO	RESULTADO E RECOMENDAÇÃO	REFERÊNCIA
<i>Atractylodes macrocephala</i> Koidz e <i>Rosa damascena</i> mill L.	Fosfatidilcolina e colesterol	-	<i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	OE encapsulados mostraram propriedades físico-químicas aprimoradas, como eficiência de aprisionamento, taxa de dissolução e estabilidade.	WEN et al., 2010
Mentha piperita	Ácido quitosanecínâmico	Nanogel	<i>Aspergillus flavus</i>	OE encapsulado exibiu melhor atividade antimicrobiana testada, enquanto os óleos livres não causaram inibição completa	BEYKI et al., 2014
Cuminum cyminum	Ácido cafeico-quitosano	Nanogel	<i>Aspergillus flavus</i>	nanogel exibiu melhor atividade antimicrobiana quando testado do que os OE livres	ZHAVEH et al., 2015
Óleo essencial de limão	Quitosana	Nanoencapsulação	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Shigella dysenteriae</i> , e <i>Escherichia coli</i>	OE de lima nanoencapsulado mostrou maior atividade antibacteriana	BOYÁS et al., 2017
Eugenol	Whey isolado de proteína e maltodextrina	Nanoemulsão	<i>E. coli</i> e <i>L. monocytogenes</i>	O eugenol nanodisperso exibiu maior atividade antimicrobiana do que o estado livre. Além disso, mostra distribuição uniforme e melhor solubilidade no sistema alimentar	SHAH; DAVIDSON; ZHONG, 2013
Óleo de menta	Triacilglicerol de cadeia média	Nanoemulsão	<i>Listeria monocytogenes</i> e <i>Staphylococcus aureus</i>	As nanoemulsões contendo OE apresentaram maior atividade antimicrobiana e retêm a estabilidade por pelo menos 30 dias de armazenamento.	LIANG et al., 2012
Tomilho, capim-limão e óleo de sálvia	Filmes comestíveis à base de alginato	Nanoemulsão	<i>Escherichia coli</i>	A atividade antimicrobiana do filme formado a partir de nanoemulsões à base de óleos essenciais exibiu notável atividade antimicrobiana, maior transparência, resistência ao vapor de água e flexibilidade.	FANI et al., 2015

Fonte: Adaptado de PRAKASH et al., 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após análise acurada da literatura, foi possível observar que a crescente demanda global por alimentos seguros e saudáveis com o mínimo de conservantes sintéticos está aumentando a cada dia, principalmente pelos consumidores que se preocupam com a saúde e o meio ambiente. Neste contexto, os OE e seus compostos bioativos possuem forte atividade antimicrobiana, podendo desempenhar um papel notável como sanitizantes e também como uma nova fonte de conservante de alimentos, considerando suas inúmeras vantagens como atividades antibacteriana, antifúngica, antitumoral e anti-inflamatória, baixo custo e abundância. O uso de abordagens científicas modernas, engenharia metabólica e métodos de extração mais novos geraram a nova fonte de matérias-primas com alto rendimento, expandindo assim o domínio de aplicação de OE como agentes antimicrobianos.

Além disso, o recente avanço na nanotecnologia oferece uma grande oportunidade para desenvolver novos agentes transportadores para a entrega e liberação de OE com estabilidade físico-química, biocompatibilidade e estabilidade térmica aprimorada. Embora a nanoencapsulação seja uma das ferramentas promissoras para a entrega eficaz de OE em alimentos, os mecanismos da maioria dos nanocarreadores em seu local alvo ainda são pouco explorados. Além disso, as interações físico-químicas dos OE nanoencapsulados com o sistema alimentar e seus impactos toxicológicos precisam ser investigados antes de sua aplicação comercial.

Apesar de todas as vantagens dos sistemas nanoestruturados que encapsulam OE aqui abordadas, foi observado que os desenvolvimentos que objetivam o controle, profilaxia e sanitização de superfícies para a indústria de alimentos ainda é muito incipiente, a despeito da abundância, qualidade e baixo custo das matrizes biopolimérica e OE. Pois apresentam desvantagens como: insolubilidade em água, volatilidade, fotossensibilidade, sabor e odor marcantes, elevado pH e capacidade de oxidação. Para resolução desses problemas foi evidenciada as nanopartículas poliméricas, que tem como pontos positivos: serem sistemas versáteis, simples, baratos de serem obtidos e altamente escalonáveis com excelente tempo de prateleira (são armazenados em temperatura ambiente). Mas por outro lado ainda há muito para se conhecer sobre essas matrizes.

Assim, esta revisão espera contribuir para a divulgação das extraordinárias propriedades dos biomateriais – biopolímeros e OE – processados em escala nanométrica dando origem às nanopartículas e nanocápsulas biopoliméricas. Almejamos também estimular

novos avanços e desenvolvimentos na área a fim de encontrar soluções mais eficazes e menos tóxicas contra os patógenos de origem alimentar.

Cabe ressaltar que ainda são necessários maiores esforços para a compreensão dos mecanismos de ação dos sistemas nanoestruturados, diminuição das propriedades organolépticas dos OE, regulamentação de sistemas nanoparticulados por órgãos competentes, assim como a avaliação desses sistemas quando desenvolvidos em larga escala.

REFERÊNCIAS

- ABATI, M.; GELINSKI, J. L. N.; BARATTO, C. M. Monitoramento microbiológico rápido e condições higiênicas de manipuladores de uma indústria de alimentos. **Evidência**, v. 12, n. 2, p. 187-196, 2012.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA –ANVISA. Biblioteca de Saneantes. Gerência de Processos Regulatórios – GPROR. Gerência-Geral de Regulamentação e Boas Práticas Regulatórias – GGREG Terceira Diretoria, 2021. Disponível em: < https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/regulamentacao/legislacao/bibliotecas-tematicas/arquivos/biblioteca-de-saneantes_portal.pdf>. Acesso em 30 de maio de 2021.
- ALCANTARA, M.; MORAIS, I. C. L.; SOUZA, C. M. O. C. C. Principal Microorganisms involved in the decay of sensory characteristics of meat products. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.1-20, 2012.
- ALTINTAS, A.; TABANCA, N.; TYIHÁK, E.; OTT, P. G.; MÓRICZ, Á. M.; MINCSOVICS, E.; WEDGE, D. E. Characterization of volatile constituents from Origanum onites and their antifungal and antibacterial activity. **Journal of AOAC International**, v. 96, n. 6, p. 1200-1208, 2013.
- ANDRADE, M. A.; CARDOSO, M. D. G.; BATISTA, L. R.; MALLET, A. C. T.; MACHADO, S. M. F. Óleos essenciais de *Cymbopogon nardus*, *Cinnamomum zeylanicum* e *Zingiber officinale*: composição, atividades antioxidante e antibacteriana. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 399-408, June 2012.
- ANDRADE, N. J. **Higiene na indústria de alimentos: avaliação e controle da adesão e formação de biofilmes bacterianos**. São Paulo, pg 412. 2008.
- ANDRADE, N. J.; PINTO, C. L. O.; FERREIRA D. G. S.; FERREIRA, R. G. S. **Higiene na indústria de alimentos**, ed. 1º, Minas Gerais, 340 p., 2014.
- ATHAYDE, A. **Higienização em indústrias de laticínios colabora no controle total da qualidade**. **Engenharia de Alimentos**, São Paulo, v. 4, n. 184, pg. 24-29, 1998.
- BAPTISTA, P. **Higienização na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 2003.
- BARBIZAN, Odair Antonio. Produção e avaliação de micropartículas de alginato contendo bacitracina de zinco, berberina e nitroprussiato de sódio recobertas por quitosana para tratamento de bacterioses extraídas de peixes. 2019. 133 f., il. **Tese** (Doutorado em Nanociência e Nanobiotecnologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- BEYKI, M.; ZHAVEH, S.; KHALILI, S. T.; RAHMANI-CHERATI, T.; ABOLLAHI, A.; BAYAT, M. Encapsulation of *Mentha piperita* essential oils in chitosanecinnamic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against *Aspergillus flavus*. **Industrial Crops and Products**, v. 54, p. 310 - 319. 2014.
- BOARI, C. A.; ALVES, M. P.; TEBALDI, V. M. R.; SAVIAN, T. V.; PICCOLI, R. H. Formação de biofilme em aço inoxidável por *Aeromonas hydrophila* e *Staphylococcus aureus* usando leite e diferentes condições de cultivo. **Food Science and Technology**, v. 29, n. 4, p. 886-895, 2009.

BOYÁS, M. E. B.; PACHECO, Z. N. C.; BAÑOS, S. B.; RANGEL, M. L. C. Physicochemical characterization of chitosan nanoparticles and nanocapsules incorporated with lime essential oil and their antibacterial activity against food-borne pathogens. **FWT - Food Science and Technology**, v. 77, p. 15-20, 2017. BROWN, T.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9 ed. Prentice-Hall, 2005.

BRASÃO, S. C. **Biofilmes de *Salmonella Minnesota*: Formação, influência da superfície, inibição por agentes químicos e importância do período entre tratamentos**. Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade de São Paulo. Da superfície, inibição por agente químicos e importância do período entre tratamentos. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias). Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

CAIXETA, D. S. **Sanificantes químicos no controle de biofilmes formados por duas espécies de *Pseudomonas* em superfície de aço inoxidável**. 75f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CALVO, P.; REMUNAN-LOPEZ, C.; VILA-JATO, J. L.; ALONSO, M. J. Novel hydrophilic chitosan-polyethylene oxide nanoparticles as protein carriers. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 63, n. 1, p. 125-132, 1997.

CAMPOS, E. V. R. PROENÇA, P. L., OLIVEIRA, J. L., PEREIRA, A. E., DE MORAIS RIBEIRO, L. N., FERNANDES, F. O.; GONÇALVES, K. C.; POLANCZYK, R. A.; PASQUOTO-STIGLIANI, T.; LIMA, R.; MELVILLE, C. C.; VECHIA, J. F. D.; ANDRADE, A. J.; FRACETO, L. F. Carvacrol and linalool co-loaded in β -cyclodextrin-grafted chitosan nanoparticles as sustainable biopesticide aiming pest control. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-14, 2018.

CASTELLANE, J. A. S.; PIRES, R. H.; ROSA, P. C. Ação do hipoclorito de sódio frente aos biofilmes fúngicos do gênero *aspergillus*. **In: CONIC-SEMESP, 17º Congresso Nacional de Iniciação Científica**, - Santo Amaro, São Paulo/SP, novembro de 2017

CHAWLA, R.; SIVAKUMAR, S.; KAUR, H. Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements-a review. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 2, p. 100024, 2021.

CHOURASIA, M. K.; JAIN, S. K. Polysaccharides for Colon Targeted Drug Delivery. *Drug Deliv J Deliv Target Ther Agents* [Internet]. 2004;11(2):129–48. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10717540490280778>.

COSTA, Italo Carvalho da. Nanopartículas poliméricas preenchidas com óleo essencial de *Piper nigrum*: caracterização química e morfológica. 2020. 82 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

ARAÚJO, Clara Lira. Avaliação dos procedimentos de limpeza e desinfecção das superfícies de uma unidade centralizada de produção. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 2, n. 2, p. 1-12, 2021.

FREITAS, L. A.; COSTA, A. S.; AGOSTINHO, A. A. M.; COSTA, L. C. S.; AVELINO, C. C. V.; GOYATÁ, S. L. T. Eficácia do hipoclorito de sódio e do álcool 70% na desinfecção de superfícies: Revisão integrativa. **Ciência, Cuidado e Saúde**, v. 18, n. 2, 2019.

DIONÍSIO, Pamela Silva. **Avaliação da qualidade de desinfetantes domésticos comercializados no município de Ariquemes-RO**. 35 fls.2012. Monografia (Bacharel em Farmácia) - Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes-RO, 2012

DOMINGUES, P. F.; DELA RICCI, G.; ORSI, A. M. Desinfecção e desinfetantes. **Revista Suínos & Cia**, Ano VII - nº 41, 2011.p.30-37.

DONSÌ, F.; ANNUNZIATA, M.; SESSA, M.; FERRARI, G. Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, 2011.

DULETIĆ-LAUŠEVIĆ, Sonja et al. Composition and biological activities of Libyan *Salvia fruticosa* Mill. and *S. lanigera* Poir. extracts. **South African Journal of Botany**, v. 117, p. 101-109, 2018.

EVANGELISTA, J. Tecnologia de alimentos, 2º ed., São Paulo, 652 p, 2008.

FANI, A. A.; TRUJILLO, L. S.; GRAÜ, M. A. R.; BELLOSO, O. M. Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. **Food Hydrocolloids**, v. 47, p.168-177, 2015.

FERNANDES, J. R.; MARTINS, A. D. O. Características e eficiência de sanificantes: uma visão geral. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 2, n. 9, p. 10-27, 2022.

FERREIRA, Cássia Thaís Pessoa de Albuquerque. Condições higiênico-sanitárias e sua importância para a prevenção de surtos de doenças transmitidas por alimentos ocasionadas por salmonella SPP. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 2, n. 4, p. 41-65, 2021.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 811, 2006.

GARLAND, M.; LOSCHER, S.; BOGYO, M. Chemical strategies to target bacterial virulence. **Chemical reviews**, v. 117, n. 5, p. 4422-4461, 2017.

GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. **Higiene e vigilância sanitária de alimentos**. São Paulo, 2001.

GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. **Higiene e vigilância sanitária de alimentos: qualidade das matérias-primas, doenças transmitidas por alimentos, treinamento de recursos humanos**. 3. Ed, São Paulo, 2008.

GERMANO, P. M. L.; GERMANO, M. I. S. **Higiene e vigilância sanitária de alimentos**. 4º ed., São Paulo, 164 p., 2011.

GUEDES, A. M. M.; NOVELLO, D.; MENDES, G. M. P.; CRISTIANINI, M. Tecnologia de ultravioleta para preservação de alimentos. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**. Curitiba, v. 27, n. 1, pg. 59-70, 2009.

HAGE-JÚNIOR, E. Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 6-9, 1998.

HOFFMANN, F. L.; GARCIA-CRUZ, C. H.; VINTURIM, T. M. **Determinação da atividade antibacteriana de desinfetantes.** *Revista Higiene Alimentar*, São Paulo, v.9, n.39, pg.29-34, 1995.

HWANG, G.; KANG, S.; EL-DIN, M G.; LIU, Y. Impact of conditioning films on the initial adhesion of *Burkholderia cepacia*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 91, p. 181-188, 2012.

IDRIS, M.; HUZAIFA, U.; HINDATU, H.; ZUBAIDA, S. Nanoencapsulation of essential oils with enhanced antimicrobial activity: A new way of combating antimicrobial Resistance. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 4, n. 3, p. 165-170, 2015.

JAMIL, B.; ABBASI, R.; ABBASI, S.; IMRAN, M.; KHAN, S. U.; IHSAN, A. (2016). Encapsulation of Cardamom Essential Oil in chitosan nanocomposites: In-vitro efficacy on antibiotic-resistant bacterial pathogens and cytotoxicity studies. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1e10.

JESUS, Arthur Felipe Pereira de. **Aplicação de boas práticas no laboratório piloto de química (lapq)**. 83 fls. 2017. Monografia (Bacharel em Engenheiro Químico) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB 2017.

LAM, S. J.; WONG, E. H.; BOYER, C.; QIAO, G. G. Antimicrobial polymeric nanoparticles. *Progress in polymer science*, v. 76, p. 40-64, 2018.

LIANG, R.; XU, S.; SHOEMAKER, C. F.; LI, Y.; ZHONG, F.; HUANG, Q. Physical and antimicrobial properties of peppermint oil nanoemulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 60, p. 7548-7555, 2012.

LIU, J.; XIAO, J.; LI, F.; SHI, Y.; LI, D.; HUANG, Q. Chitosan-sodium alginate nanoparticle as a delivery system for ϵ -polylysine: preparation, characterization and antimicrobial activity. *Food Control*, v. 91, p. 302-310, 2018.

LOPES-LUTZ, D.; ALVIANO, D. S.; ALVIANO, C. S.; KOLODZIEJCZYK, P. P. Screening of chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia* essential oils. *Phytochemistry*, v. 69, n. 8, p. 1732-1738, 2008.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; BASÍLIO, S. K. T.; ARAÚJO, E. M. Influência da Sequência de Mistura nas Propriedades de Blendas de PS/SBRr Compatibilizada com SBS. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 12, n. 1, p. 3 - 11, 2015.

MALTA, R. C. R. et al. Avaliação da tolerância ao hipoclorito de sódio por isolados de *acinetobacter sp.* oriundos de produtos lácteos e de saladas prontas para o consumo. *In.7º Simpósio de segurança alimentar, Inovação com sustentabilidade*, Online, outubro 2020.

MARIANO-TORRES, J. A.; LÓPEZ-MARURE, A.; DOMIGUEZ-SÁNCHEZ, M. A. Synthesis and characterization of polymers based on citric acid and glycerol: Its application in non-biodegradable polymers. *Dyna*, v. 82, n. 190, p. 53-59, 2015.

MENEGARO, A.; FLORES, A. F.; SIMER, P.; SBARDELLOTTO, P. R. R.; PINTO, E. P. Sanitizantes: concentrações e aplicabilidade na indústria de alimentos. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 15, n. 2, p. 171-174, 2016.

MOKHENA, T. C.; LUYT, A. S.; MOKHENA, T. C.; LUYT, A. S.; MOKHENA, T. C.; LUYT, A. S. Electrospun alginate nanofibres impregnated with silver nanoparticles: Preparation, morphology and antibacterial properties. **Carbohydr Polym** [Internet]. 2017/11/11. 2017;165(1):304–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.11.019>

MORAES, J. O.; CRUZ, E. A.; PINHEIRO, Í.; OLIVEIRA, T. C.; ALVARENGA, V.; SANT'ANA, A. S.; MAGNANI, M. An ordinal logistic regression approach to predict the variability on biofilm formation stages by five *Salmonella enterica* strains on polypropylene and glass surfaces as affected by pH, temperature and NaCl. **Food microbiology**, v. 83, p. 95-103, 2019.

NASCIMENTO, A. C. D.; CUNHA JUNIOR, A. P. D.; SILVA, C. R. G.; LEÃO, M. V. P.; SANTOS, S. S. F. D. Estabilidade do ácido peracético no processo de desinfecção prévia à lavagem. **Revista da Associação Paulista de Cirurgios Dentistas**, v. 69, n. 4, p. 367-382, 2015.

NASCIMENTO, H. M.; DELGADO, D. A.; BARBARIC, I. F. Avaliação da aplicação de agentes sanitizantes como controladores do crescimento microbiano na indústria alimentícia. **Revista Ceciliansa**, v. 2, n. 1, p. 11-13, 2010.

NASCIMENTO, J. S. **Biologia de Microrganismos**. Disponível em: <http://portal.virtual.ufpb.br/biologia/novo_site/Biblioteca/Livro_4/6-Biologia_de_Microrganismos.pdf>. Acesso em: 26 de outubro 2021.

ODEH, Salaheddin et al. Experiências da Aplicação de VISIR na Universidade de Al-Quds. **In: 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**. IEEE, 2014. p. 346-352.

OMEROVIĆ, N., DJISALOV, M., ŽIVOJEVIĆ, K., MLADENOVIĆ, M., VUNDUK, J., MILENKOVIĆ, I. KNEŽEVIĆ, N. Ž.; GADJANSKI, I.; JASMINA VIDIĆ, J. Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 3, p. 2428-2454, 2021.

PACHA, P. A.; MUNOZ, M. A.; GONZÁLEZ-ROCHA, G.; SAN MARTÍN, I.; QUEZADA-AGUILUZ, M.; AGUAYO-REYES, A.; BELLO-TOLEDO, H.; LATORRE, A. A. Molecular diversity of *Staphylococcus aureus* and the role of milking equipment adherences or biofilm as a source for bulk tank milk contamination. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 3, p. 3522-3531, 2021.

PERES, Phelipe Augusto Borba Martins. **Perfil virulento, disseminação fenotípica e distribuição espacial e sazonal de *Campylobacter jejuni* isoladas de carcaças de frango no Brasil**. 139 fls. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2020.

PIMENTEL, K. G. B.; SILVA, J. D. O.; OLIVEIRA, V. M. L.; FERNANDES, F. H. A. Vantagens e limitações de soluções antissépticas na higienização e prevenção frente ao novo coronavírus. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 16, n. 4, 2020.

PITT, F. D.; BOING, D.; BARROS, A. A. C. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. **Revista da UNIFEFE**, v. 1, n. 09, 2011.

PRAKASH, B.; KUJUR, A.; YADAV, A.; KUMAR, A.; SINGH, P. P.; DUBEY, N. K.; PRAKASH, B. Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system. **Food Control**, v. 89, p. 1-11, 2018.

PREZOTTI, F. G.; CURY, B. S. F.; EVANGELISTA, R. C. Mucoadhesive beads of gellan gum/pectin intended to controlled delivery of drugs. **Carbohydr Polym** [Internet]. 2014;113:286–95. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.021>

QUEIROZ, A. F. R.; COELHO, A. F. S.; CAMILO, L. S. S.; FARIAS, I. L. N. Determinação da eficácia de substâncias desinfetantes em diferentes concentrações e tempos de contato. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 39579-39591, 2021.

REIS, C. P.; NEUFELD, R. J.; RIBEIRO, A. J.; VEIGA, F. Nanoencapsulation I. Methods for preparation of drug-loaded polymeric nanoparticles. *Nanomedicine Nanotechnology*, **Biol Med**. 2006;2(1):8–21.

RIBEIRO, L. N. M. et al. Nanocarriers from natural lipids with in vitro activity against *Campylobacter jejuni*. **Front. Cell. Infect. Microbiol**. 10: 571040. doi: 10.3389/fcimb, 2021.

RIBEIRO, L. N.; ALCANTARA, A.; DA SILVA, G. H. R.; FRANZ-MONTAN, M.; NISTA, S. V.; CASTRO, S. R.; COUTO, V. M.; GUILHERME, V. A.; DE PAULA, E. Advances in hybrid polymer-based materials for sustained drug release. **International Journal of Polymer Science**, v. 2017, 2017.

RIBEIRO, Lígia Nunes de Morais et al. Hybrid pectin-liposome formulation against multi-resistant bacterial strains. **Pharmaceutics**, v. 12, n. 8, p. 769, 2020.

ROLAND, I.; PIEL, G.; DELATTRE, L.; EVRARD. Systematic characterization of oil-in-water emulsions for formulation design. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 263, p. 85-94, 2003.

ROMA, Laryssa Hellen Aguiar. **Avaliação da eficiência da sanitização das superfícies dos equipamentos e utensílios de entreposto de carnes**. 19 fls. 2021. Monografia (Bacharel em Medicina Veterinária) – Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos – UNICEPLAC, Gama, DF, 2021.

ROSSI, A. C. R.; PORTO, E. A importância da elaboração de procedimentos de higienização considerando a presença de biofilmes. **Microbiology**, v. 88, n. 3, p. 512-520, 2000.

SALDANHA, J. T. **Emprego de nanopartículas em estratégias de prevenção e tratamento de infecções relacionadas à formação de biofilmes bacterianos**. Dissertação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Set. 2014.

SCHAFFAZICK, S. R.; GUTERRES, S. S. Caracterização e Estabilidade Físico-química de Sistemas Poliméricos Nanoparticulados para Administração de Fármacos. **Química Nova**, v. 26, n. 5, p. 726-737, 2003.

SHAH, B.; DAVIDSON, P. M.; ZHONG, Q. Nanodispersed eugenol has improved antimicrobial activity against *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* in bovine milk. **International Journal of Food Microbiology**, v.161, p. 53-59, 2013.

SILVA, J. M. S. D. Encapsulamento do Óleo Essencial da *Lippia alba* em Nanopartículas de Poli- ϵ - caprolactona (PCL) para Avaliação da Estabilidade e Atividade Larvicida contra o *Aedes aegypti*. Manaus - Brasil. **Dissertação de Mestrado**, p. 1-70, 2019.

SILVA, Juciara Alves da et al. **Desinfetante de uso geral à base de clorexidina: formulação, validação da metodologia de doseamento, estabilidade preliminar e avaliação da eficácia microbiológica**. 54 fls. 2012. Monografia (Bacharel em Farmácia)- Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2012.

SILVA, M. I. DO N.; NASCIMENTO, M. I. DO. Preparo e estudo fisico-químico e morfológico de hidrogel de alginato recoberto com quitosana contendo berberina [Internet]. 2015. Available from: <http://bdm.unb.br/handle/10483/10963>.

Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas –Sinitox. Disponível e em: < <https://sinitox.icict.fiocruz.br/>>. Acesso em 30 de maio de 2021.

SPIRESCU, V. A.; CHIRCOV, C.; GRUMEZESCU, A. M.; ANDRONESCU, E. Polymeric Nanoparticles for Antimicrobial Therapies: An up-to-date Overview. **Polymers**, v. 13, n. 5, p. 724, 2021.

SPREER, Edgar. Lactologia Industrial. 2.ed. Espanha: **Editora Acríbia S. A**, 1991.

SREY, S.; JAHID, I. K.; HA, S. Biofilm formation in food industries: a food safety concern. **Food Control**, Vurrey. v. 31, n. 2, p. 572-585, June, 2013.

TREENATE, P.; MONVISADE, P. Crosslinker Effects on Properties of Hydroxyethylacryl Chitosan/Sodium Alginate Hydrogel Films. **Macromol Symp** [Internet]. 2017;372(1):147–53.

VANDAMME, T. F.; LENOURRY, A.; CHARRUEAU, C.; CHAUMEIL, J.C. The use of polysaccharides to target drugs to the colon. **Carbohydrate Polymer**, Oxford, v. 48, p. 219-231, 2002.

WEN, Z.; LIU, B.; ZHENG, Z.; YOU, X.; PU, Y.; LI, Q. Preparation of liposomes entrapping essential oil from *Atractylodes macrocephala* Koidz by modified RESS technique. **Chemical Engineering Research and Design**, 88, 1102e1107. 2010.

ZHAI, H.; LIU, H.; WANG, S.; WU, J.; KLUENTER, A. M. Potential of essential oils for poultry and pigs. **Animal Nutrition**, v. 4, p. 179-186, 2018.

ZHAI, H.; LIU, H.; WANG, S.; WU, J.; KLUENTER, A. M. Potential of essential oils for poultry and pigs. **Animal Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 179-186, 2018.

ZHAVEH, S.; MOHSENFAR, A.; BEIKI, M.; KHALILI, S. T.; ABDOLLAHI, A.; RAHMANI-CHERATI, T. Encapsulation of *Cuminum cyminum* essential oils in chitosan-caffeic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against *Aspergillus flavus*. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 251-256, 2015.

LUONG, L. T.; BROPHY, T.; STOLZ, E.; CHAN, S. State-dependent parasitism by a facultative parasite of fruit flies. **Cambridge University Press**, vol. 144, n. 11, p. 1468-1475, 2017.