

Roberta Torres Careli  
Larissa Cristina Ferreira  
Camila Ribeiro Rocha  
Márcia Martins  
Eduardo Robson Duarte

**ESTRATÉGIAS PARA O CONTROLE DE  
BIOFILMES NA INDÚSTRIA DE  
ALIMENTOS**

ICA-UFMG

Roberta Torres Careli  
Larissa Cristina Ferreira  
Camila Ribeiro Rocha  
Márcia Martins  
Eduardo Robson Duarte

1ª edição

**ESTRATÉGIAS PARA O CONTROLE DE  
BIOFILMES NA INDÚSTRIA DE  
ALIMENTOS**

**ICA-UFMG  
Montes Claros  
2024**

Careli, Roberta Torres.

C271e  
2024

Estratégias para o controle de biofilmes na indústria de alimentos [recurso eletrônico] / Roberta Torres Careli, Larissa Cristina Ferreira, Camila Ribeiro Rocha Márcia Martins e Eduardo Robson Duarte. Montes Claros: ICA/UFMG, 2024.  
62 p.

Inclui referências.  
ISBN: 978-65-88389-32-4

1. Biofilme. 2. Alimentos -- Indústria. I. Ferreira, Larissa Cristina. II. Rocha, Camila Ribeiro. III. Martins, Márcia. IV. Duarte, Eduardo Robson. V. Instituto de Ciências Agrárias da UFMG. VI. Título.

CDU: 664

## ESTRATÉGIAS PARA CONTROLE DE BIOFILMES NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

### ***Introdução***

A história do biofilme data o século XVII, onde Antonie van Leeuwenhoek observou que em amostras de tártaro provenientes dos dentes, havia a presença de uma “massa” que posteriormente foi identificada por Leeuwenhoek através de um microscópio como sendo células de bactérias agregadas (LEEUWENHOEK, 1684 citado por SLAVKIN, 1997). Somente houve uma publicação descrevendo os biofilmes em 1943, onde Claude Ephraim ZoBell estudou a adesão de microrganismos marinhos em cascos de navios e em outros tipos de superfícies submersas (ZOBELL, 1943 citado por MENOITA *et al.*, 2012). Posteriormente, Costerton, Geesey e Cheng (1978) introduziram o termo biofilme ao constatar através do uso de técnicas mais avançadas que os microrganismos se encontram aderidos a superfícies ao invés de estarem na forma dispersa em suspensão.

Desde então, o conceito de biofilme se atualizou e pesquisas vêm sendo realizadas nas diversas áreas relacionadas com a ecologia microbiana (MASCARENHAS *et al.*, 2010). Atualmente o termo biofilme é definido como um conjunto de células microbianas as quais estão aderidas às superfícies bióticas ou abióticas, envolvidas numa complexa matriz extracelular de substâncias poliméricas e nutrientes que pode ser descrita como uma rede gelatinosa que imobiliza e protege as células (MENOITA *et al.*, 2012; OLIVEIRA; BRUGNERA; PICCOLI, 2010). A matriz é responsável pela

resistência das células do biofilme a condições de estresse, como falta de água ou nutrientes e presença de agentes antimicrobianos (KIVES; ORGAZ; SANJOSÉ, 2006).

Microrganismos patogênicos e deteriorantes podem formar biofilmes nas superfícies das plantas de processamento de alimentos causando riscos de contaminações através desprendimento de células microbianas que estavam fortemente aderidas. Essa liberação de células aderidas à superfície do equipamento resulta, na maioria das vezes em transferência do microrganismo para o alimento à medida em que ocorre a sua produção (SOUZA *et al.*, 2014). Os equipamentos e utensílios presentes na indústria alimentícia quando não são higienizados corretamente, estão propensos à contaminação microbiológica devido às superfícies industriais úmidas e a matéria prima orgânica fornecerem de substrato para o desenvolvimento e persistência dos biofilmes, os quais podem causar diversos problemas, uma vez que o biofilme microbiano tem o potencial de atuar como fonte recorrente de transmissão de deteriorantes e patógenos que comprometerão a qualidade do alimento e representarão riscos à saúde pública (BRIDIER *et al.*, 2015; CAIXETA, 2008; MÜCKE, 2016).

O conceito de inocuidade na indústria de alimentos está relacionado ao controle rigoroso na escolha da matéria-prima e higienização (GERMANO; GERMANO, 2008). A higienização tem como objetivo a preservação da qualidade microbiológica dos alimentos através de controle e prevenção da formação de biofilmes, de modo a obter um produto com

qualidades nutricionais, sensoriais e condição higiênico-sanitária satisfatória, não acarretando nenhum tipo de risco à saúde ao consumidor (CAIXETA, 2008). No processo de higienização, tem-se o procedimento de limpeza, no qual há a remoção de resíduos orgânicos e minerais aderidos à superfície, os quais são formados em sua maioria por proteínas, gorduras e sais minerais. O processo posterior à limpeza é chamado de sanitização. Essa etapa visa a eliminação de microrganismos patogênicos ou a redução destes a níveis aceitáveis (MACÊDO; BARRA, 2007). As falhas nos procedimentos de higienização permitem que os resíduos aderidos aos equipamentos e superfícies transformem-se em potencial fonte de nutrientes para a formação de processos de adesão até a fase irreversível desse processo (KASNOWSKI, 2010).

Segundo Carvalho *et al.* (2019), os locais que mais favorecem a formação de biofilmes são cantos, juntas, articulações, fendas em tubulações ou sistemas de tubulações sem saída. As empresas geralmente utilizam soluções à base de cloro ou de ácido peracético para sanitização destes ambientes, os quais são responsáveis por penetrar na matriz de exopolímeros, acessando às células microbianas causando sua inativação e remoção dos microrganismos e/ou biofilmes (SOUZA *et al.*, 2014). Entretanto, quando o programa de higienização é ineficiente, pode haver desenvolvimento de resistência dos microrganismos aos agentes antimicrobianos utilizados, através da exposição a concentrações subletais de sanitizantes durante essa etapa do processo (PEREIRA, 2014). Yu *et al.* (2021) comprovaram através de pesquisas que

concentrações subletais de cloreto de benzalcônio (sanitizante químico) aumentaram a formação de biofilme de *Escherichia coli*, promovendo a produção de exopolissacarídeos (EPS) durante o desenvolvimento do biofilme.

Nesse contexto, o desenvolvimento e aplicação de novas técnicas que possam complementar ou até mesmo substituir o uso de sanitizantes químicos utilizados no processamento de alimentos pela indústria se faz necessário. Diversos pesquisadores têm estudado a utilização de métodos alternativos para o controle de biofilmes. Rodrigues *et al.* (2018) avaliaram a eficácia do uso de óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare*) e carvacrol na remoção de biofilmes de *Staphylococcus aureus*, enquanto Wei *et al.* (2020) examinaram os efeitos da floretina sob o quorum sensing de biofilmes formados por *Listeria monocytogenes*. Outra linha de pesquisa realizada por Cui *et al.* (2021), foi o tratamento de biofilmes de *L. monocytogenes* cultivados em aço inoxidável utilizando plasma frio de nitrogênio e ainda neste mesmo ano, Sun *et al.* (2021) testaram a combinação de ultrassom com ácido clorogênico para a inativação de biofilmes de *S. aureus*. Posteriormente, Eid *et al.* (2022) pesquisaram o uso de terapia bacteriofágica como alternativa para a redução de biofilmes de *Escherichia coli* multirresistente em cortes de frangos. Dessa forma, esse *e-book* tem como objetivo apresentar estudos recentes publicados nos últimos anos acerca de técnicas químicas, físicas ou de suas combinações frente a formação de biofilmes

microbianos na indústria de alimentos, com ênfase no seu controle e na sua inibição.

### ***Biofilmes bacterianos***

A comunidade de biofilme pode ser classificada em monoespécies ou multiespécies. Ao examinar comunidades maduras de biofilmes, observou-se que sua composição se dá principalmente por biofilmes multiespécies complexos (STOODLEY *et al.*, 2002). Segundo dados fornecidos pelo Ministério da Saúde, os quatro agentes etiológicos mais identificados nos Surtos de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar (DTHA) no Brasil entre os anos de 2012 a 2021 são: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp.* e *Bacillus cereus*, os quais são responsáveis por 60,9 % dos casos (BRASIL, 2022). Geralmente estes agentes estão envolvidos na formação de biofilmes na indústria de alimentos. Portanto, para inibir e controlar a formação de biofilmes bacterianos, faz-se necessário entender como se dá o processo de interação entre os tipos de superfícies e o biofilme desde a etapa de adesão celular inicial até o final do seu desenvolvimento.

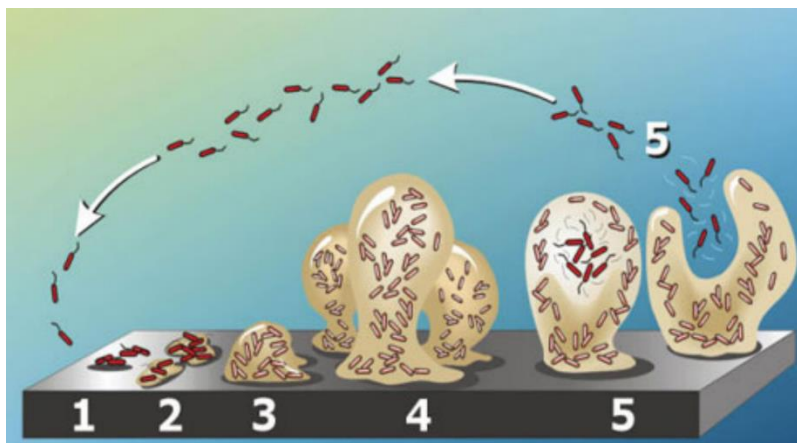
A adesão microbiana em superfícies ou células está relacionada com um processo físico-químico, o qual é determinado por forças de *Van der Waals*, forças eletrostáticas e estéricas atuando entre as células e a superfície de fixação (MICHIELS, 2010). Estima-se que cerca de 95 a 99 % dos microrganismos existem na forma de biofilmes

nos ambientes naturais (NIKOLAEV; PLAKUNOV, 2006). O desenvolvimento do biofilme pode ocorrer em variadas superfícies que tenham a presença de algum substrato o qual é necessário para seu desenvolvimento, em se tratando da indústria de alimentos, destacam-se as superfícies de aço inoxidável, vidro, polipropileno, fórmica, ferro, polietileno de baixa densidade e policarbonato (CARVALHO, 2019).

A formação do biofilme, ilustrada esquematicamente na Figura 1, engloba diversas etapas que variam desde a fixação do microrganismo à superfície até sua maturação e formação. O processo de construção e desenvolvimento dessa complexa matriz microbiana aderida a algum tipo de superfície pode durar de horas até semanas, estando condicionada ao seu meio, o que posteriormente irá causar o desprendimento de células e de exopolissacarídeos (EPS) para o meio circundante (KASNOWSKI *et al.*, 2010; MARTIN *et al.*, 2015).

No primeiro estágio da formação do biofilme ocorre a adesão reversível do microrganismo à superfície podendo esta ser abiótica ou biótica (KASNOWSKI *et al.*, 2010). Diversos fatores influenciam a etapa de adesão do microrganismo à superfície, dentre eles, tem-se a carga superficial, a presença de fímbrias, flagelo, pH, força iônica ou EPS (ZERAIK, 2009). Nesta etapa, as células possuem baixa interação e ocorre a produção de EPS que complexam os materiais da superfície e os receptores específicos localizados nos flagelos, pili ou fímbrias (CARELI, 2009).

Figura 1: Estágios de desenvolvimento dos biofilmes.



Fonte: Adaptada de DIRCKX E DAVIES, 2005.

Conforme há o acúmulo de nutrientes (Estágio 2), às células iniciais multiplicam-se formando colônias e, caso não haja a interferência mecânica ou química nesta etapa, a adesão deste biofilme se torna irreversível (KASNOWSKI *et al.*, 2010).

Durante o processo de adesão irreversível ocorre a ancoragem de apêndices celulares como pili, flagelo e proteínas adesina, em conjunto da produção de substâncias poliméricas extracelulares, promovendo o fortalecimento das ligações entre as células e a superfície (CHRISTENSEN; CHARAEKLIS, 1990). Na próxima etapa há o crescimento do biofilme em uma arquitetura tridimensional (Estágio 3), na qual a concentração celular aumenta e algumas células alteram seus processos fisiológicos passando a crescer em anaerobiose devido às condições ambientais (STOODLEY *et al.*, 2002). Em seguida, tem-se a etapa de maturação a qual

ocorre a geração de uma complexa arquitetura (Estágio 4), canais e poros para o transporte de nutrientes, ocorrendo também o desenvolvimento da comunicação entre espécies chamado de *quorum sensing* (DAVIES *et al.*, 1998; STOODLEY *et al.*, 2002). Durante a adesão irreversível, um parâmetro importante a ser avaliado é o número de microrganismos em estado sésil na superfície. De acordo com concentração microbiana aderida, pode-se determinar se há a formação de um biofilme maduro. Segundo Andrade (2008), para se considerar um biofilme, é necessária uma concentração de células sésseis em torno de  $10^7$  UFC/cm<sup>2</sup>, enquanto Ronner e Wong (1993), consideram como biofilme um número de células aderidas de  $10^3$  e  $10^5$  UFC/cm<sup>2</sup>.

No quinto e último estágio, o biofilme é capaz de se desprender e liberar de células planctônicas ou microcolônias, podendo também eliminar toxinas produzidas para o meio (MARTIN *et al.*, 2015; MITTLEMAN, 1998).

Após as células de biofilmes se fixarem irreversivelmente a sua remoção é difícil, o que acaba requerendo aplicação de forças mecânicas ou químicas (SINDE; CARBALLO, 2000). Dessa forma, diversas técnicas emergentes (Tabela 1) que envolvem forças mecânicas e químicas, separadas e em conjunto serão abordadas posteriormente com o intuito de controlar e inibir a formação dos biofilmes.

Tabela 1 - Estratégias abordadas para controle de biofilmes formados por diferentes microrganismos na indústria de alimentos

<b>Tratamento</b>	<b>Tipo de biofilme</b>	<b>Referência</b>
Plasma frio de nitrogênio e bacteriófago	<i>E. coli</i> O157:H7	Cui <i>et al.</i> (2018)
Plasma frio atmosférico	<i>S. enteritidis</i>	Gabriel <i>et al.</i> (2018)
Óleos essenciais de tomilho e melaleuca	<i>E. coli</i>	Sadekuzzaman <i>et al.</i> (2018)
Plasma frio	<i>L. monocytogenes</i> e <i>S. enterica</i>	Timmons <i>et al.</i> (2018)
Óleos essenciais de alecrim pimenta, craveiro e tomilho, e ácido peracético	<i>S. aureus</i>	Vázquez-Sánchez <i>et al.</i> (2018)
Desinfetante de óleo essencial de manjerona em pH ácido	<i>E. coli</i>	Vidács <i>et al.</i> (2018)
Radiação UV-C	<i>S. Typhimurium</i> e <i>L. monocytogenes</i>	Yoon <i>et al.</i> (2018)
Endolisina LysCSA13	<i>S. aureus</i>	Cha, Son e Ryu (2019)
Solução de cloro e ácido láctico	<i>E. coli</i> e <i>L. monocytogenes</i>	Chhetri <i>et al.</i> (2019)
Radiação UV-C	<i>Alicyclobacillus</i> spp.	Do Prado <i>et al.</i> (2019)
Radiação UV-C	<i>P. aeruginosa</i>	Gora <i>et al.</i> (2019)
Coquetel de bacteriófagos LPSTLL, LPST94 e LPST153	<i>S. Typhimurium</i>	Islam <i>et al.</i> (2019)
Óleo essencial de canela e eugenol	<i>E. coli</i> e <i>S. aureus</i>	Millezi <i>et al.</i> (2019)

Plasma frio atmosférico de alta tensão	<i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. Typhimurium</i> e <i>P. fluorescens</i>	Pantage <i>et al.</i> (2019)
Plasma frio de nitrogênio	<i>S. Typhimurium</i>	Lin <i>et al.</i> (2020)
Óleo essencial de orégano, ácido pirúvico e ácido succínico	<i>S. Typhimurium</i>	Mohan e Purohit (2020)
Extrato fenólico de pitanga, furanona, canamicina e gentamicina	<i>S. liquefaciens</i>	Rodrigues <i>et al.</i> (2020)
Ultrassom, água eletrolisada ácida e água com ozônio	<i>S. aureus</i>	Shao <i>et al.</i> (2020)
Radiação UV-C e óleo essencial de cravo	<i>S. Typhimurium</i>	Silva-Espinoza <i>et al.</i> (2020)
Bacteriófago AZ0145A	<i>E. coli</i> O:145	Wang <i>et al.</i> (2020)
Bacteriófago FP43	<i>E. coli</i>	Zhang <i>et al.</i> (2020)
Pós biótico BALS	<i>P. aeruginosa</i>	Aman <i>et al.</i> (2021)
Plasma frio	<i>L. monocytogenes</i> e <i>S. Typhimurium</i>	Katsigiannis <i>et al.</i> (2021)
<i>Flavourzyme</i>	<i>E. coli</i>	Nahar <i>et al.</i> (2021)
Isoeugenol	<i>P. aeruginosa</i>	Rajesh <i>et al.</i> (2021)
Radiação UV-C, hipoclorito de sódio e água eletrolisada levemente ácida	<i>V. parahaemolyticus</i>	Roy <i>et al.</i> (2021)
Vitamina C	<i>E. coli</i>	Shivaprasad <i>et al.</i> (2021)
Ultrassom de alta intensidade e dióxido de cloro	<i>S. aureus</i>	Yu <i>et al.</i> (2021)

Superfície bifuncional: 2-hidroxietil metacrilato e ácido 3-(acrilamido)fenilborônico	<i>P. aeruginosa</i> e <i>S. aureus</i>	Zou <i>et al.</i> (2021)
Coquetel de bacteriófagos LMPC01, LMPC02 e LMPC03	<i>L. monocytogenes</i>	Byun <i>et al.</i> (2022a)
Radiação UV-C, ácido peroxiacético e ácido láctico	<i>S. enteritidis</i>	Byun <i>et al.</i> (2022b)
Óleo essencial de cravo e óleo essencial de orégano	<i>S. Derby</i>	Liu <i>et al.</i> (2022)
Radiação UV-C	<i>P. aeruginosa</i>	Ma <i>et al.</i> (2022)
Ultrassom e ácido clorogênico	<i>S. enteritidis</i>	Sun <i>et al.</i> (2022)
Composto eugenol, composto timol e pós-biótico BAL J.27	<i>V. parahaemolyticus</i> , <i>P. aeruginosa</i> e <i>E. coli</i>	Toushik <i>et al.</i> (2022)
Ultrassom, ácido cítrico, ácido láctico, ácido málico, ácido acético e água	<i>E. coli</i> e <i>L. monocytogenes</i>	Turhan <i>et al.</i> (2022)
Coquetel de bacteriófagos EP75 e EP335	<i>E. coli</i>	Witte <i>et al.</i> (2022)
Endolisina LysTG2	<i>P. aeruginosa</i>	Zhang <i>et al.</i> (2022a)
Bacteriófago FP43 e solução clorada levemente ácida e aquecida	<i>E. coli</i> O157:H7 e <i>E. coli</i> O91:H	Zhang <i>et al.</i> (2022b)
Revestimento multifuncional: Ácido hialurônico, quitosana quaternizada e acilase	<i>P. aeruginosa</i>	Zou <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Ferreira, 2022.

## ***Inibição do Quorum Sensing***

*Quorum sensing* (QS) é conhecido como um sistema para comunicação célula-célula utilizado por bactérias, no qual as células bacterianas se comunicam entre si por meio de liberação, detecção e resposta a pequenas moléculas de sinais conhecidas como autoindutores (Ais) (PENG *et al.*, 2018). A comunicação de superfície de um grupo de bactérias é de extrema importância na formação do biofilme, coordenando atividades comuns e processos fisiológicos, como simbiose, formação de esporos, síntese de antibióticos, competência genética, apoptose e virulência (MISHRA *et al.*, 2020; SUBRAMANI; JAYAPRAKASHVEL, 2019). Conforme há o aumento do biofilme, ocorre o aumento na concentração extracelular da molécula sinalizadora, até que atinja uma determinada quantidade a qual o grupo de microrganismos detecta a molécula sinalizadora e responde com uma alteração em toda a população presente no biofilme, permitindo que as bactérias funcionem como organismos multicelulares e obtenham benefícios que nunca poderiam obter individualmente (BASSLER; LOSICK, 2006).

Pesquisas promissoras estão sendo realizadas com o intuito de prevenção da comunicação quorum sensing com o objetivo de conter a formação de biofilmes (AL-SHABIB *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2022; MOLINA *et al.*, 2020; SHARAH [et al., 2019](#); YIN *et al.*, 2022; YU *et al.*, 2021a). Os processos que têm como objetivo a inativação de sinais de quorum sensing são conhecidos como quorum quenching (QQ) (DONG *et al.*, 2001). O quorum quenching possui natureza diversa (enzimas e compostos químicos), modo de ação (clivagem do sinal QS,

inibição competitiva, etc.), todas as etapas principais da via QS (síntese, difusão, acumulação e percepção dos sinais QS) podem ser afetados. Usualmente, as enzimas responsáveis por inativar os sinais QS são chamadas de enzimas QQ, bactérias que secretam enzimas QQ são chamadas de bactérias QQ e os produtos químicos que interrompem as vias QS são chamados de inibidores de QS (QSIs) (GRANDCLEMENT *et al.*, 2015). O conhecimento e o desenvolvimento de novas pesquisas relacionadas à comunicação quorum sensing pode auxiliar na identificação de moléculas específicas da espécie e/ou desenvolvimento de intervenções as quais poderiam ser empregadas para controlar ou inibir os comportamentos de deterioração e patógenos regulados por QS, impactando positivamente na qualidade e segurança dos alimentos (SKANDAMIS; NYCHAS, 2012).

Portanto, a utilização de compostos antimicrobianos que inibem o QS será capaz de inibir o desenvolvimento do biofilme bacteriano. Zou *et al.* (2022) realizaram uma pesquisa visando um revestimento multifuncional frente à *Pseudomonas aeruginosa*. Tal revestimento atuou em diferentes estágios de formação do biofilme, repeliu a adesão inicial, inibiu a maturação do biofilme no estágio intermediário, interferiu no processo de QS e matou as bactérias. Os componentes escolhidos foram o ácido hialurônico, quitosana quaternizada e acilase (Si-AQH), os quais são antiadesivo, bactericida e anti-QS, respectivamente. Como resultado, o revestimento demonstrou propriedades antibiofilme frente à *P. aeruginosa*, onde no terceiro dia, em comparação com a superfície não modificada, a superfície de

Si-AQH diminuiu a velocidade de multiplicação bacteriana e produção de biomassa com redução de 98 % e 71 %, respectivamente. Passados 28 dias, a taxa de redução do biofilme da superfície Si-AQH ainda se apresentava acima de 90 %. Zou *et al.* (2021) também pesquisaram uma superfície bifuncional composta por um polímero anti-incrustante e uma molécula antibiofilme natural que interfere no quorum sensing, encontrando resultados que inibiram a formação de biofilme de *P. aeruginosa* e *S. aureus*.

Com o objetivo de avaliar a eficácia antibiofilme da Vitamina C contra de *Escherichia coli* através da interferência QS, Shivaprasad *et al.* (2021), descobriram que o tratamento com Vitamina C demonstrou uma redução de 5,8 vezes na produção de EPS (0,5 µg/µL) quando comparada com o controle (2,9 µg/µL), indicando que a Vitamina C anula os sinais QS, a produção de EPS e regula negativamente a expressão gênica responsável pela produção de moléculas produtoras de QS (HSL, homoserina lactona), as quais se desintegraram ainda mais na presença dos radicais livres. Nahar *et al.* (2021) utilizaram *Flavourzyme*, um aditivo utilizado pela indústria de alimentos para diminuir o amargor e realçar o sabor, com o objetivo de avaliar a sua interferência na comunicação QS, evitando a formação de biofilmes de *Escherichia coli*. Os resultados demonstraram que *Flavourzyme* consegue romper a matriz EPS por degradação de proteínas adesinas que estão envolvidas principalmente na agregação e fixação celular. Ambas as pesquisas confirmam que a interferência no QS traz resultados desejados principalmente nas etapas de formação do biofilme como a

diminuição da produção de EPS responsáveis pela fixação do biofilme nas superfícies.

Rajesh *et al.* (2021) avaliaram a influência do isoeugenol na inibição da expressão de virulência regulada por QS e na formação de biofilme de *Pseudomonas aeruginosa*. Após testes de concentrações variadas de isoeugenol, os autores definiram uma concentração de 400  $\mu\text{M}$  para avaliar os fatores antivirulência e antibiofilme. Os resultados encontrados demonstraram que o tratamento se fez eficaz, inibindo mais de 70 % do crescimento do biofilme, afetando a produção de pirocianina, ramnolipídio, exopolissacarídeo e formação de biofilme. Aman *et al.* (2021) estudaram sobre a interferência de metabólitos secundários não tóxicos produzidos por bactérias lácticas (BALs) isolados de várias fontes, com o objetivo de extinção de quorum frente *Pseudomonas aeruginosa*. Os autores identificaram que os extratos brutos e frações purificadas (isolados de leite de vaca) de *Lactobacillus fermentum* e *Pediococcus pentosaceus* inibiram em cerca de 30 % e 25 % respectivamente, o crescimento biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa* na faixa de concentração de 500  $\mu\text{g/mL}$ , indicando uma atividade antibiofilme significativa.

Rodrigues *et al.* (2020) conquistaram a redução da formação de biofilme por *Serratia liquefaciens* através da interrupção do sistema QS com o uso de furanona e extrato fenólico de pitanga, além de aumentar a susceptibilidade do biofilme a compostos antimicrobianos (canamicina e gentamicina). Os compostos presentes no extrato da planta inibem a atividade enzimática, alteram a solubilidade lipídica

da membrana celular ou se integram com proteínas não específicas dos microrganismos (DA SILVA *et al.*, 2020).

## ***Controle de Biofilme Através de Métodos Químicos***

### **Óleos essenciais**

Os óleos essenciais (OE) são compostos naturais voláteis e complexos, caracterizados por um odor forte e formados por plantas aromáticas como metabólitos secundários. São líquidos, límpidos e raramente coloridos, solúveis em lipídios e solventes orgânicos, exibindo densidade, geralmente, inferior à da água (BAKKALI, 2008; DHIFI *et al.*, 2016). Podem ser extraídos de várias partes da planta, como brotos, cascas, ervas, flores, folhas, frutos, galhos, madeira, sementes e raízes (BURT, 2004).

Existem várias técnicas utilizadas para a extração de óleos essenciais que deve ser escolhido conforme a finalidade do seu uso. Estes podem incluir a destilação de alta ou baixa pressão empregando a água ou vapor, extração por solventes, extração por fluidos supercríticos, *effleurage* (extração utilizando gordura animal ou vegetal), entre outros métodos (BAKKALI, 2008; EDRIS, 2007; SURBURG; PANTEN, 2006). A composição do produto extraído pode conter variações de qualidade devido a espécie vegetal, condições climáticas, composição de solo, estágio do ciclo vegetativo e qual parte de planta foi utilizada para a produção (ANGIONI *et al.*, 2006; MASOTTI *et al.*, 2003). Desse modo, para a obtenção de óleos essenciais de composição constante, é necessário a extração

nas mesmas condições, sob o mesmo clima, solo e colheita da planta na mesma época (BAKKALI, 2008).

A atividade antimicrobiana dos óleos essenciais está associada aos seus constituintes ativos. Estes compostos podem ser separados em quatro grupos baseados de acordo com suas estruturas químicas que são os terpenos, terpenóides, fenilpropenos e outros como, por exemplo, a alicina (HYLDGAARD; MYGIND; MEYER, 2012). A primeira interação entre a célula microbiana e o óleo essencial pode ocorrer por meio da difusão passiva da molécula do composto ativo, onde em bactérias Gram-positivas e fungos acontece através da parede celular e em bactérias Gram-negativas pela membrana externa. Elevadas concentrações ou longos períodos de exposição ao OE podem causar maiores danos à parede celular e a membrana citoplasmática, ocasionando o aumento da permeabilidade e ruptura da estrutura e suas diferentes camadas de polissacarídeos, ácidos graxos e fosfolipídeos, resultando na perda de macromoléculas, como o DNA e proteínas, sendo responsável morte celular do microrganismo (BAKKALI, 2008; HAMMER; CARSON, 2010).

Millezi *et al.* (2019) verificaram a atividade antibiofilme do óleo essencial de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) e de eugenol frente a *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* em cupons de aço inoxidável. Nesta pesquisa, foram utilizadas cinco concentrações, variando de 0,0 % a 1,92 % para o óleo essencial de canela e uma concentração de 0,76 % para o eugenol. Os resultados obtidos demonstraram reduções significativas ( $p < 0,05$ ) e prevenção na formação das comunidades bacterianas neste tipo de superfície, sendo que

a concentração de 1,92 % do óleo essencial de canela foi a que apresentou melhor eficácia. Para os biofilmes de *E. coli* houveram reduções de 5,91 log UFC/cm<sup>2</sup> com a utilização de *C. zeylanicum* e 3,65 log UFC/cm<sup>2</sup> com o eugenol, enquanto, biofilmes de *S. aureus* reduziram 2,2 log UFC/cm<sup>2</sup> e 5,17 log UFC/cm<sup>2</sup> com o eugenol e óleo essencial, respectivamente. Sadekuzzaman *et al.* (2018) também alcançaram boas reduções para biofilmes formados por *E. coli* em aço inoxidável após tratamento com óleos essenciais de tomilho (*Thymus vulgaris*) e melaleuca (*Melaleuca alternifolia*), sendo, de 1,4 a 3,0 log UFC/cm<sup>2</sup> para o tomilho e 1,8 a 2,8 log UFC/cm<sup>2</sup> com a melaleuca. Vidács *et al.* (2018) conseguiram a total eliminação do biofilme de *E. coli* em superfícies de polipropileno após o uso da solução desinfetante de óleo essencial de manjerona (*Origanum majorana*) em pH ácido.

Toushik *et al.* (2022) avaliaram a efetividade antibiofilme da combinação de compostos encontrados em óleos essenciais (eugenol e timol) com pós-biótico (produtos ou subprodutos metabólicos secretados por bactérias) BAL J.27 contra *Vibrio parahaemolyticus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*, em diferentes superfícies (borracha, polietileno de baixa densidade (PEDB) e filé de lula). Os dados encontrados indicaram que a combinação do pós-biótico com o timol proporcionou a máxima eficácia na redução das células dos biofilmes, atingindo 2,80 log UFC/cm<sup>2</sup> para *E. coli* na borracha e 2,70 log UFC/cm<sup>2</sup> para *P. aeruginosa* no PEDB. Na superfície da lula, a combinação dos dois tipos de tratamentos resultou em uma diminuição significativa ( $p <$

0,05) para os três patógenos analisados. Após sete dias de experimento, a contagem das células dos microrganismos ficaram abaixo dos níveis de detecção, demonstrando que quanto maior for o tempo de exposição dos biofilmes a combinação destes tratamentos, maior será a eficácia antibiofilme. Seguindo esta mesma linha de pesquisa, Vázquez-Sánchez *et al.* (2018) obtiveram redução significativa de aproximadamente 99,99 % das células do biofilme de *Staphylococcus aureus* em superfícies de manipulação de alimentos após a utilização de combinações binárias de três óleos essenciais (alecrim pimenta, craveiro e tomilho) e ácido peracético.

Liu *et al.* (2022) analisaram os efeitos inibitórios dos óleos essenciais de cravo (*Syzygium aromaticum*) e orégano (*Origanum vulgare*) na formação de biofilmes de *Salmonella* Derby isolada de uma planta de processamento de carne bovina. Os pesquisadores determinaram a concentração inibitória mínima (CIM) para cada um dos óleos essenciais, sendo 0,8 mg/mL para o cravo e 0,2 mg/mL para o orégano e a partir desta informação foram criadas quatro diferentes concentrações, que posteriormente foram utilizadas no estudo. Os resultados obtidos demonstraram que utilizando apenas o valor inibitório mínimo de cada óleo essencial foi o suficiente para alcançarem taxas superiores a 90 % na inibição da formação de biofilmes. Outra concentração que também apresentou bons resultados foi a de 1/8 CIM, no qual o óleo essencial de cravo exibiu o melhor efeito, atingindo 90,29 %, enquanto o óleo essencial de orégano atingiu apenas 48,79 % de inibição. Mohan e Purohit (2020) também estudaram a

atividade do óleo essencial de orégano em combinação com dois ácidos orgânicos (pirúvico e succínico) na redução de *Salmonella Typhimurium* em cupons de aço inoxidável, onde alcançaram uma redução de aproximadamente 4 log UFC/cupom após expor os biofilmes por cinco minutos a combinação destes tratamentos.

### **Bacteriófagos**

Os bacteriófagos são vírus que infectam especificamente bactérias, sendo inofensivos para animais, humanos e plantas. Descobertos em 1915, eles têm sido largamente utilizados na medicina humana, veterinária e também em vários ambientes agrícolas. Como parasitas obrigatórios, os fagos podem causar a lise celular para a liberação de partículas virais recém-formadas, através da via lítica ou levar à integração da informação genética no cromossomo bacteriano sem causar a morte celular por a via lisogênica (GARCÍA *et al.*, 2008; SILLANKORVA; OLIVEIRA; AZEREDO, 2012). Suas propriedades são atrativas para aqueles que buscam novas formas para controlar os patógenos de origem alimentar, pois na ausência das bactérias alvo, os bacteriófagos se decompõem em partículas biológicas comuns (aminoácidos e ácidos nucléicos) e são naturalmente absorvidas pelo ambiente (HAGENS; OFFERHAUS, 2008; HUDSON *et al.*, 2005).

Assim como todos os vírus, os bacteriófagos são constituídos de DNA ou RNA revestidos por uma capa de proteína chamada capsídeo, em alguns fagos esta estrutura é

coberta por uma cauda que contém lipídios que desempenham, provavelmente, a função da adesão do bacteriófago à parede celular do hospedeiro. O ácido nucléico pode ser composto por fita simples ou dupla e em sua estrutura próxima a cauda, pode ser encontrado a placa basal com uma a seis fibras. Muitos bacteriófagos variam em forma e tamanho, podendo abranger de seis a mais de cem genes (PELCZAR; CHAN; KRIEG, 1996).

Com base nos ciclos biológicos, os bacteriófagos podem ser classificados em dois tipos: bacteriófagos líticos (virulentos) ou bacteriófagos lisogênicos (temperados). Os fagos virulentos se multiplicam dentro da célula hospedeira bacteriana, injetando seu genoma e utilizando a maquinaria molecular do hospedeiro para a sua reprodução, após montar sua progênie, ocorre a lise da célula hospedeira para que estes sejam liberados. Para a ruptura da célula hospedeira, a maioria dos fagos líticos utilizam as proteínas holinas, responsáveis pela perfuração da membrana citoplasmática bacteriana e funcionam como ferramenta de sinergia para as endolisinas. Fagos temperados se diferenciam na maneira em que infectam seu hospedeiro, pois para que ocorra o ciclo lisogênico, o genoma do fago deverá permanecer dormente como um profago e sua replicação acontecerá junto com seu hospedeiro, sendo passado sucessivamente por gerações bacterianas e posteriormente, devido a estímulos externos, o ciclo lisogênico é alterado para um ciclo lítico ativo (CISEK *et al.*, 2016; KUTTER; SULAKVELIDZE, 2004).

Cha, Son e Ryu (2019) estudaram a eficácia de redução de biofilmes formados por *Staphylococcus aureus* em diversas

superfícies de contato com alimento através do uso da endolisina LysCSA13. Os pesquisadores aplicaram diferentes concentrações de LysCSA13 (50 nM a 1000 nM) nas superfícies de polietileno, aço inoxidável e vidro e incubaram as amostras por 37 °C no período de 2 horas. Posteriormente, foi relatado que a concentração de 300 nM de endolisina foi suficiente para a diminuição do biofilme das cepas testadas em polietileno e que qualquer concentração acima desta apresentou atividade saturada. Para as outras duas superfícies, a concentração de 300 nM ou maiores concentrações de endolisina apresentaram reduções de aproximadamente 82 % a 92 % nas amostras aderidas ao aço inoxidável e vidro, respectivamente, indicando que o tratamento de 1 hora com 300 nM de LysCSA13 é suficiente para a eliminação de biofilmes estafilocócicos. Zhang *et al.* (2022a) obtiveram a diminuição de 99,99 % das células de biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa* e *Pseudomonas putida* após aplicação da endolisina LysSTG2 em superfícies de poliestireno e aço inoxidável.

Byun *et al.* (2022a) analisaram a eficácia de erradicação do coquetel de fagos contra biofilmes jovens e maduros de *Listeria monocytogenes* formados em três superfícies de contato com alimento. Para a formação dos biofilmes jovens foi necessária a incubação da espécie bacteriana pelo período de 24 horas, enquanto que para o maduro foi preciso 72 horas. Após isso, estes biofilmes foram tratados com 20 mL de coquetel de fagos (LMPC01, LMPC02 e LMPC03) por 8 horas nas temperaturas de 4 °C, 15 °C e 30 °C. Como resultado, a eliminação através do tratamento com o coquetel de fagos se

mostrou melhor nas populações de *L. monocytogenes* em biofilmes jovens, atingindo a maior redução de 2,72 log UFC/cm<sup>2</sup> na superfície de aço inoxidável a 30 °C, enquanto o valor encontrado para o biofilme maduro nestas mesmas condições foi de 1,87 log UFC/cm<sup>2</sup>. Anteriormente, Islam *et al.* (2019) utilizaram 5 mL de coquetel de fagos (LPSTLL, LPST94 e LPST153) em biofilmes maduros de *Salmonella Typhimurium* aderidos em aço inoxidável e conquistaram reduções de 5,50 log UFC/cm<sup>2</sup> e 6,42 log UFC/cm<sup>2</sup> e para biofilmes formados pela união de *S. Typhimurium* e *Salmonella Enteritidis* ocorreram diminuições de 5,23 log UFC/cm<sup>2</sup> e 5,77 log UFC/cm<sup>2</sup>. Witte *et al.* (2022) reforçam que a aplicação de um coquetel de bacteriófagos resultou em reduções significativas ( $p < 0,05$ ) de *E. coli* O157 em vegetais e carne.

Zhang *et al.* (2022b) avaliaram os efeitos da combinação do bacteriófago FP43 com solução clorada à base de hipoclorito de sódio, na concentração de 40 mg/L e levemente ácida (SCLA) aquecida na inativação de biofilmes mistos de *Escherichia coli* O157:H7 e *Escherichia coli* O91:H. Neste estudo, foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro através da aplicação de 100 µL do fago FP43 na superfície da alface e incubado a 10 °C pelo período de 24 horas e após isso a amostra foi mergulhada em 1 litro de SCLA com 40 mg/L de cloro disponível aquecido a 25 °C e 50 °C por 5 min. Para o segundo experimento, foram alterados a temperatura e o tempo de incubação após a aplicação do bacteriófago a fim de encurtar o tempo de tratamento, sendo de 25 °C por 2 horas e posteriormente os pedaços de alface inoculados foram mergulhados em 1 litro de SCLA pré-

aquecido a 50 °C por 5 min. Através dos resultados obtidos no primeiro teste, foi possível concluir que o efeito bactericida do SCLA foi potencializado pelo aumento da temperatura, sendo removido aproximadamente 2,3 log UFC/peça a 50 °C. Já o segundo ensaio reduziu as contagens de células de *E. coli* para níveis abaixo do limite de detecção após a finalização do tratamento combinando, demonstrando forte efeito bactericida. No passado, Zhang *et al.* (2020) reduziram 60 % do biofilme misto de *E. coli* utilizando apenas de 200 µL do fago FP43 por 6 horas. Utilizando outro tipo de bacteriófago (AZO145A), Wang *et al.* (2020) eliminaram 2,9 UFC/cupom de biofilmes formados por *E. coli* (STEC) O:145 cultivados em aço inoxidável por 24 horas.

## ***Controle de Biofilme Através de Métodos Físicos***

### **Plasma Frio**

Descoberto em 1879 pelo químico e físico britânico William Crookes (CROOKES, 1879), o plasma está entre as quatro formas do estado natural da matéria, além de sólidos, líquidos e gasosos, sendo formado essencialmente por íons e elétrons (DRUMMOND, 1961). O plasma pode ser dividido entre plasma térmico e plasma não térmico (plasma frio). Os plasmas frios são reconhecidos por possuírem a temperatura de seus elétrons relativamente alta e seus íons em baixa temperatura. Seu uso vem ganhando destaque nos campos de aplicação prática e pesquisa por ser produzido através de equipamentos simples, de baixo consumo de energia e operação em temperatura ambiente, além da ausência de

resíduos tóxicos após a utilização (LIEBERMAN; LICHTENBERG, 2005).

O plasma frio pode ser originado excitando determinado gás neutro através de descargas elétricas sob pressão atmosférica, baixa pressão e alta pressão à temperatura ambiente, atribuindo energia suficiente para a sua ionização (PANKAJ; KEENER, 2017). Há variados tipos de sistemas de produção de plasma frio, porém os mais utilizados para pesquisas e projetos relacionados a alimentos são a descarga de barreira dielétrica (DBD) e o jato de plasma, por possuírem funcionamento simples, adaptáveis e versáteis. (DENG *et al.*, 2019).

Devido à sua natureza complexa e dinâmica, os mecanismos de inativação microbiana por esta técnica não são totalmente compreendidos, porém há estudos que relatam que os mecanismos podem ser divididos entre aspectos biológicos ou físicos. Os aspectos biológicos estão relacionados essencialmente a danos na capacidade de replicação do DNA pela radiação UV e danos oxidativos em membranas ou componentes intracelulares (carboidratos, DNA, proteínas, etc.) através de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio (ERON) (ALKAWAREEK *et al.*, 2014; BEGGS, 2002; JOSHI *et al.*, 2011). Os aspectos físicos estão associados à ruptura da membrana celular devido a carga de elétrons ou íons que se encontram na superfície (LUNOV *et al.*, 2015).

Cui *et al.* (2018) pesquisaram o efeito em conjunto entre o plasma frio de nitrogênio (PFN) e bacteriófago contra biofilmes de *Escherichia coli* O157:H7 em vegetais frescos. Para a realização do experimento aplicou-se o PFN com

voltagem de 400 W pelo tempo de 2 min, seguido da concentração de 5 % de bacteriófago pelo período de 30 min. Como resultado, foi obtido uma redução de 5,71 log UFC/cm<sup>2</sup> na contagem de bactérias remanescente no biofilme em comparação com aproximadamente 2 log UFC/cm<sup>2</sup> atingido após tratamento individual com cada uma das duas técnicas. Logo, os autores puderam concluir que a adição do bacteriófago pode melhorar consideravelmente o efeito antimicrobiano do plasma frio, demonstrando ser uma grande promessa para a melhoria dos atuais conjuntos de práticas de descontaminação microbiana. Timmons *et al.* (2018) realizaram a inativação de 3,60 log UFC/mL em biofilmes de *E. coli*, 2,60 log UFC/mL em *L. monocytogenes* e 3,02 log UFC/mL em *S. enterica* aderidos em vidro após aplicação do plasma frio, pelo método de descarga de barreira dielétrica de superfície. Seguindo esta linha de pesquisa de descontaminação em superfícies abióticas utilizando o plasma frio, Katsigiannis *et al.* (2021) conquistaram a redução de 1,50 log UFC/mL para *L. monocytogenes* e 1,0 log UFC/mL para *S. Typhimurium* em aço inoxidável 304. Enquanto Gabriel *et al.* (2018) obtiveram reduções nas populações de *S. enterica* de aproximadamente 6 log UFC/in<sup>2</sup> em aço inoxidável após 14 segundos de tratamento com plasma frio atmosférico.

Pantage *et al.* (2019) avaliaram o controle de biofilmes de monocultura e cultura mista de *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica Typhimurium* e *Pseudomonas fluorescens* cultivadas em alfaces utilizando o plasma frio atmosférico (PFA) de alta tensão. De acordo com os autores, os microrganismos apresentaram sensibilidade

variável ao tratamento com PFA, demonstrando que há dependência dos fatores do processo. Biofilmes de culturas únicas e mistas tratadas com PFA de alta voltagem (80 kV) pelo período de 1 minuto sofreram redução significativa ( $p < 0,05$ ), após 2 min de tratamento o número de bactérias restantes nos biofilmes reduziu para níveis indetectáveis. Biofilmes de espécies mistas de *L. monocytogenes* e *P. fluorescens* necessitaram de mais de dois minutos de tratamento para que ocorresse a diminuição. A temperatura no qual o biofilme é cultivado é um dos fatores que interferem no desempenho desta técnica, os biofilmes cultivados em 4° C apresentaram maior resistência em comparação com os cultivados a 15° C. A conclusão obtida após finalização do experimento confirma que o microrganismo utilizado, classificação do biofilme (monoespécie ou multiespécie), assim como as condições de estresse ambiental influenciam na efetividade da atividade antibiofilme do tratamento. Estes dados são confirmados por El Kadri *et al.* (2021), que informam que a fragilidade do biofilme frente a utilização do plasma frio é relativa a idade e o tipo de microrganismo combatido, e biofilmes mistos podem se tornar menos vulneráveis a esta técnica.

Lin *et al.* (2020) investigaram as propriedades inibitórias do plasma frio de nitrogênio (PFN) em biofilmes de *Salmonella Typhimurium* em ovos de aves, onde foram testados 4 tipos diferentes de potências variando de 300 a 600 W, pelo intervalo de 1 a 5 min. Após o tratamento com PFN de alta potência, foi possível observar que quanto maior for a potência, maior será o efeito antibacteriano desta técnica. Desta maneira, as potências de 400 W por 3 min e 600 W por

2 min foram escolhidas para um estudo mais aprofundado e obtiveram uma redução no número de microrganismos de 4,05 log UFC/cm<sup>2</sup> e 6,53 log UFC/cm<sup>2</sup>, respectivamente após exposição a técnica. Seguindo esta linha de pesquisa, Govaert *et al.* (2019) também concluíram que a eficácia da inativação de biofilmes patogênicos cresce conforme aumenta a intensidade utilizada.

## **Ultrassom**

Através da ausência de produtos químicos, a esterilização ultrassônica demonstra-se suscetível a inativar bactérias e preservar as características dos produtos, tratando-se de um método mais ecológico na limpeza de superfícies na indústria de alimentos (LU; HU; REN, 2022). A técnica de controle de microrganismos através do ultrassom (US) mostrou-se promissora na década de 1960, onde foi descoberto que um sonar de um submarino utilizado na guerra estava ligado a mortes de peixes (EARNSHAW *et al.*, 1995). A partir desta descoberta, diversos autores se propuseram a investigar como o ultrassom poderia ser útil na indústria de alimentos com o intuito de destruir microrganismos e colônias de biofilmes, através da inativação de múltiplos alvos, os quais estavam relacionados ao comprometimento da parede celular, membrana citoplasmática e estrutura interna (LI *et al.*, 2016; YU *et al.*, 2020).

Os equipamentos de US estão associados a frequências que variam de 20 kHz a 10 MHz. A utilização do US de alta intensidade em baixas frequências (20 a 100 kHz) é

responsável pela inativação de microrganismos presentes no ambiente de processamento de alimentos, através do fenômeno conhecido como cavitação (PIYASENA; MOHAREB; MCKELLAR, 2003). A cavitação intracelular, é responsável por choques micromecânicos os quais afetam componentes estruturais e funcionais das células causando seu rompimento celular e conseqüentemente sua morte, porém diversos fatores interferem na inativação dos microrganismos, como a natureza das ondas ultrassônicas, o tempo de exposição do ultrassom com os microrganismos, o tipo de microrganismo, o volume que será processado, a composição do alimento e a temperatura (BUTZ; TAUSCHER, 2002).

O aumento da temperatura, pressão, choques mecânicos e formação de radicais livres que são formados através do processo de cavitação tem potencial de destruição dos microrganismos. O US também pode ser utilizado em conjunto de agentes químicos como desinfetantes (YU *et al.*, 2021), ozônio (SHAO *et al.*, 2020), água eletrolisada (SHAO *et al.*, 2020), ácidos orgânicos (CHHETRI *et al.* (2019), LIU *et al.* (2018), SHI *et al.*(2017), SUN *et al.*(2022), TURHAN *et al.*, (2022)), promovendo um efeito bactericida nos biofilmes e interferindo na sua adesão, evitando que haja o desprendimento do biofilme da superfície de contato, sendo um dos principais pontos de interesse da utilização da técnica de higiene ultrassônica na indústria de alimentos. A eficiência do efeito bactericida obtido pelo tratamento ultrassônico está relacionada aos parâmetros escolhidos e aos tipos de microrganismos que se deseja eliminar (YU *et al.*, 2020).

Yu *et al.* (2021b) pesquisaram sobre a eficácia da combinação de US de alta intensidade (20 kHz, 60 W) e dióxido de cloro a 4 mg/L com o objetivo de avaliar o desprendimento do biofilme de *Staphylococcus aureus* e a inativação das células do biofilme. Os resultados obtidos foram promissores, onde a taxa de inativação do biofilme atingiu 99,03 % para o tratamento combinado entre o US e dióxido de cloro por 10 min. Um estudo realizado por Shao *et al.* (2020), apontou resultados que apoiam os dados encontrados por Yu *et al.* (2021), onde a combinação de água eletrolisada ácida (AEA) ou água com ozônio (AO) com ultrassom, promoveu um aumento na redução de células de *Staphylococcus aureus*, atingindo uma redução de aproximadamente 3,7 log UFC/cm<sup>2</sup> e 2,0 log UFC/cm<sup>2</sup> para AEA e AO, respectivamente. Lu, Hu e Ren (2022) corroboram com os estudos mencionados anteriormente, demonstrando que o US é responsável por alterar as propriedades físicas da membrana celular, auxiliando a entrada e promovendo a eficácia dos agentes antibacterianos.

Por outro lado, Sun *et al.* (2022) analisaram os diferentes mecanismos antibacterianos e antibiofilme do US, através do tratamento com ácido clorogênico (0,5 %, 1 % e 2 %) e sua combinação contra *Salmonella enteritidis*. Para o tratamento com US utilizou-se a frequência de 50 kHz e intensidade de 400 W, enquanto que para o tratamento combinado foram utilizadas as mesmas condições descritas anteriormente. Os dados encontrados indicaram que o tratamento com US sozinho foi ineficaz na inativação de células de *S. enteritidis*, enquanto que em geral o tratamento

combinado foi mais eficaz que o US e tratamento com ácido clorogênico sozinho. Todavia, a utilização apenas do ácido clorogênico 2 % demonstrou resultados similares aos efeitos antibiofilme do ultrassom combinado com o ácido clorogênico 1 %. Liu *et al.* (2018) e Shi *et al.* (2017) relataram a eficiência antibacteriana e antibiofilme dos ácidos orgânicos, confirmando a eficiência para o tratamento com ácido clorogênico 2 % utilizado nesse experimento.

Turhan *et al.* (2022) investigaram o efeito de inativação de diferentes ácidos orgânicos (2 %) e US (35 kHz, 380 W) sobre biofilmes de *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes* na superfície de folhas de alface. Os autores observaram que o tratamento combinado do US com ácidos orgânicos produziu efeitos sinérgicos na redução do biofilme, sendo o maior efeito obtido quando o US e ácido cítrico foram aplicados por 30 min, para ambos os microrganismos presentes na superfície da alface. Contudo, os sanitizantes mais eficazes para a descontaminação da alface, quando utilizados separadamente, foram o ácido málico e o ácido láctico. Chhetri *et al.* (2019) encontraram resultados que também promovem a eficácia do ácido láctico, onde em folhas tratadas com ácido láctico a 0,5 %, a redução na população de *E. coli* e *L. monocytogenes* foram de 3,07 log UFC/cm<sup>2</sup> (24h) e 1,40 log UFC/cm<sup>2</sup> (48h), respectivamente.

## **Ultravioleta**

No espectro eletromagnético, a luz ultravioleta (UV) alcança a faixa de 100 a 400 nm, este intervalo pode ser dividido em UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm), UV-C

(200-280 nm) e UV-vácuo (100-200 nm). A luz UV-C é utilizada especialmente para inativação microbiana, pois pode ser absorvida pelo DNA, onde a inativação máxima é aproximadamente na faixa de 254 a 264 nm (CHOUDHARY; BANDLA, 2012; DENG *et al.*, 2019). O uso da radiação UV-C é uma abordagem promissora na indústria alimentícia devido ser uma tecnologia de fácil implementação, baixo custo, eficiência energética, efeito bactericida e mínima geração de resíduos tóxicos (KEYSER *et al.*, 2008; KOUTCHMA, 2019a).

A escolha da fonte UV é de extrema importância, pois pode aumentar a eficácia da inativação microbiana. As fontes de UV disponíveis incluem as lâmpadas de mercúrio de baixa e média pressão (MBP e MMP), luz pulsada (LP), lâmpadas excimer e diodos emissores de luz (LEDs) (KOUTCHMA, 2009; KOUTCHMA 2019b). Para aplicações com efeito antimicrobiano as lâmpadas UV de mercúrio de baixa pressão (MBP) são as mais utilizadas, entretanto desvantagens como a possibilidade de vazamento do mercúrio são relatadas. Os diodos emissores de luz (LEDs) estão sendo utilizados como alternativa, uma vez que com o seu uso também é possível inativar patógenos de origem alimentar (SHIN *et al.*, 2016). A inativação microbiana pela radiação ultravioleta tipo C (UV-C) é causada especialmente devido às suas ações diretas e indiretas sobre o DNA microbiano, uma vez que a absorção da luz UV promove alterações fotoquímicas gerando dímeros de timina, dificultando os processos de replicação e transcrição para a inativação dos microrganismos e a formação de radicais livres por radiólise da água (BYELASHOV; SOFOS, 2009; DENG *et al.*, 2019; KOUTCHMA, 2019a).

Do Prado *et al.* (2019) avaliaram o efeito da radiação UV-C na redução de biofilmes de *Alicyclobacillus* spp. em superfícies de aço inoxidável e borracha utilizando suco de laranja industrializado como meio de cultura. Os microrganismos estudados foram expostos há 5 tempos diferentes durante o experimento. Dados obtidos pelos autores demonstraram resultados semelhantes ao comparar as duas superfícies. Biofilmes formados pela espécie *A. acidocaldarius* apresentaram reduções de 3,03 log UFC/cm<sup>2</sup> para aço inoxidável e 3,26 log UFC/cm<sup>2</sup> para borracha após 30 min de exposição. Já Yoon *et al.* (2018) conquistaram reduções bacterianas de aproximadamente 1,5 log UFC/cupom após expor biofilmes de *Salmonella Typhimurium* e *Listeria monocytogenes* cultivados em aço inoxidável a radiação ultravioleta (254 nm) pelo período de 120 min.

Silva-Espinoza *et al.* (2020) estudaram o efeito da combinação de luz ultravioleta C e óleo essencial de cravo (*Syzygium aromaticum*) (OEC) na inativação de biofilmes de *Salmonella Typhimurium* em superfícies de aço inoxidável. Nesta pesquisa, foi relatado o efeito sinérgico da combinação de UV-C com o OEC. A utilização de 1,2 mg/mL de óleo essencial em conjunto com irradiação UV de 76,41 mJ/cm<sup>2</sup> obteve redução completa da carga bacteriana de 6,8 log UFC/cm<sup>2</sup>. Individualmente, o óleo essencial de cravo e a radiação ultravioleta tipo C apresentaram valores inferiores na taxa de redução das células de *S. Typhimurium* aderidas na superfície, sendo 1,8 log UFC/cm<sup>2</sup> e 2,9 log UFC/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Outras associações foram realizadas com este mesmo intuito, Byun *et al.* (2022b) alcançaram

aproximadamente 5 log UFC/cm<sup>2</sup> de redução enquanto avaliavam a remoção de biofilmes formados por *Salmonella Enteritidis* em diferentes superfícies de contato com alimentos, utilizando tratamento combinado de UV-C com ácido peroxiacético ou ácido láctico. Roy *et al.* (2021) também relataram a eliminação de biofilmes de *Vibrio parahaemolyticus* em superfícies de caranguejos e camarões utilizando a irradiação ultravioleta tipo C (UV-C) acoplado com hipoclorito de sódio (NaOCl) e água eletrolisada levemente ácida (AELA), comprovando que os tratamentos combinados reduzem os biofilmes de maneira mais eficaz do que os tratamentos utilizados isoladamente.

Ma *et al.* (2022) investigaram a inativação de células bacterianas ligadas ao biofilme de *Pseudomonas aeruginosa* em sistemas de distribuição e armazenamento de água aplicando irradiação em comprimentos de onda UV-C. Neste estudo, foram utilizados biofilmes com diferentes maturidades e 5 dispositivos emissores de luz UV-C. Os dados encontrados indicam que a curva de resposta das células do biofilme à dose de UV pode ser separada em duas regiões: Inativação inicial e cauda. Na primeira o valor da redução logarítmica (VRL) aumenta junto com a dose de UV e a segunda, o VRL atingiu o seu máximo e mantém-se constante à medida que a dose de UV aumenta. Em relação ao dispositivo, o UV LED (270 nm) foi o que apresentou melhor atividade na região de inativação inicial, alcançando um VRL de 2,1 UFC/cupom na dose de 10 mJ/cm<sup>2</sup> de UV. À medida que os biofilmes amadurecem, os valores de VRL se tornaram mais baixos, indicando que eles adquirem maior resistência à

radiação UV-C. Outro estudo realizado por Gora *et al.* (2019) relataram reduções de 0,9 log UFC/cm<sup>2</sup> e 1,3 log UFC/cm<sup>2</sup> na inativação de biofilmes de *P. aeruginosa* através da variação da dosagem de luz UV, indicando que a utilização de LEDs é uma tecnologia promissora para desinfecção de sistemas e armazenamento de água e superfícies molhadas.

## **CONCLUSÃO**

As estratégias aqui apresentadas para controle e inibição dos biofilmes na indústria de alimentos se demonstraram eficazes no que tange a substituição dos sanitizantes pela indústria. As técnicas físicas se apresentaram uma ótima opção para as indústrias. Entretanto, tais métodos demandam a utilização de equipamentos específicos que irão apresentar um custo a mais de implementação pela empresa, uma vez que seria necessário acrescentar uma operação unitária a mais aos processos.

Em contrapartida, o uso de técnicas químicas se demonstra uma excelente opção, tendo em vista que não seria necessário um custo alto para a sua implementação e como benefícios as empresas teriam um maior controle e inibição de biofilmes em seus processos quando comparadas aos resultados obtidos com o uso de sanitizantes comumente utilizado pelas indústrias.

## REFERÊNCIAS

ALKAWAREEK, M. Y. *et al.* Potential cellular targets and antibacterial efficacy of atmospheric pressure non-thermal plasma. **International Journal of Antimicrobial Agents**, v. 43, n. 2, p. 154–160, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924857913003257>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

AL-SHABIB, N. A. *et al.* Food color “Azorubine” interferes with quorum sensing regulated functions and obliterates biofilm formed by food associated bacteria: An in vitro and in silico approach. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 27, n. 4, p. 1080–1090, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X20300024>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

AMAN, M. *et al.* Lactic acid bacteria inhibits quorum sensing and biofilm formation of *Pseudomonas aeruginosa* strain JUPG01 isolated from rancid butter. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 36, p. 102115, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818121002115>>. Acesso em: 3 out. 2022.

ANDRADE, N. J. **Higiene na Indústria de Alimentos: Avaliação e Controle da Adesão e Formação de Biofilmes Bacterianos**. 1. ed. São Paulo: Varela, 2008.

ANGIONI, A. *et al.* Chemical Composition, Seasonal Variability, and Antifungal Activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* Essential Oils from Stem/Leaves and Flowers. ACS

Publications. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 54, n. 12, p. 4364-4370, 2006. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf0603329#>>. Acesso em: 13 set. 2022.

BAKKALI, F. *et al.* Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278691507004541>>. Acesso em: 12 set. 2022.

BASSLER, B. L; LOSICK, R. Bacterially Speaking. **Cell**, v. 125, n. 2, p. 237–246, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867406004338>>. Acesso em: 26 set. 2022.

BEGGS, C. B. A quantitative method for evaluating the photoreactivation of ultraviolet damaged microorganisms. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 1, n. 6, p. 431–437, 2002. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1039/b202801h>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

BRASIL (2022). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Surtos de Doenças de Transmissão Hídrica e Alimentar no Brasil - Informe 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/d/dtha/arquivos/apresentacao-surtos-dtha-2022.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2022.

BRIDIER, A. *et al.* Persistência de patógenos de origem alimentar associada a biofilme. **Microbiologia alimentar**, v. 45, p. 167-178, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002014000902>>. Acesso em: 22 set. 2022.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223–253, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160504001680>>. Acesso em: 12 set. 2022.

BUTZ, P.; TAUSCHER, B. Emerging technologies: chemical aspects. **Food Research International**, v. 35, n. 2-3, p. 279–284, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996901001971>>. Acesso em: 1 set. 2022.

BYELASHOV, O. A.; SOFOS, J. N. Strategies for On-Line Decontamination of Carcasses. **Safety of Meat and Processed Meat**, p. 149–182, 2009. Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-89026-5\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-89026-5_6)>. Acesso em: 06 set. 2022.

BYUN, K.-H. *et al.* Combination treatment of peroxyacetic acid or lactic acid with UV-C to control *Salmonella Enteritidis* biofilms on food contact surface and chicken skin. **Food Microbiology**, v. 102, p. 103906, 2022b. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002021001726>>. Acesso em: 07 set. 2022.

BYUN, K.-H. *et al.* Biofilm eradication ability of phage cocktail against *Listeria monocytogenes* biofilms formed on food contact materials and effect on virulence-related genes and biofilm structure. **Food Research International**, v. 157,

p. 111367, 2022a. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996922004240>>. Acesso em: 07 out. 2022.

CAIXETA, D. S. **Sanificantes químicos no controle de biofilmes formados por duas espécies de *Pseudomonas* em superfície de aço inoxidável.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008. Disponível em:  
<<https://www.scielo.br/j/cta/a/y4n6pNDB3w7NxXww7MVQ7Hw/abstract/?lang=pt&format=html>>. Acesso em: 20 out. 2022.

CARELI, R. T. **Ocorrência de *Cryptosporidium* spp. na cadeia produtiva de alface (*Lactuca sativa* L.), sua captura e retenção por biofilmes de *Pseudomonas fluorescens* e seu controle por surfactantes.** Locus.ufv.br, 2022. Disponível em:  
<<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/420>>. Acesso em: 20 set. 2022.

CARVALHO, A. *et al.* Formação e resistência do biofilme microbiano em indústrias processadoras de alimentos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 30, 2019. Disponível em:  
<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2019b/formacao.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2022.

CHA, Y.; SON, B.; RYU, S. Effective removal of staphylococcal biofilms on various food contact surfaces by *Staphylococcus aureus* phage endolysin LysCSA13. **Food Microbiology**, v. 84, p. 103245, 2019. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002019301832>>. Acesso em: 06 out. 2022.

CHHETRI, V. S. *et al.* Effect of residual chlorine and organic acids on survival and attachment of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* on spinach leaves during storage. **LWT**, v. 105, p. 298–305, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643819301094#!>>. Acesso em: 3 set. 2022.

CHOUDHARY, R.; BANDLA, S. Ultraviolet Pasteurization for Food Industry. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, v. 2, n. 1, p. 12–15, 2012. Disponível em: <<http://article.sapub.org/10.5923.j.food.20120201.03.html>>. Acesso em: 05 set. 2022.

CHRISTENSEN, B.E.; CHARAEKLIS, W.C. Physical and chemical properties of biofilms. In: Characklis WG, Marshall KC, editores. **Biofilms**. New York: John Wiley and Sons, Inc.; 1990. p. 93-130. Disponível em: <[https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntv-nsjt1aadkposzje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1682509](https://www.scirp.org/(S(351jmbntv-nsjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1682509)>. Acesso em: 20 set. 2022.

CISEK, A. A. *et al.* Phage Therapy in Bacterial Infections Treatment: One Hundred Years After the Discovery of Bacteriophages. **Current Microbiology**, v. 74, n. 2, p. 277–283, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00284-016-1166-x>>. Acesso em: 05 out. 2022.

COSTERTON, J. W.; GEESEY, G. G.; CHENG, K. J. **How Bacteria Stick**. ResearchGate. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/22505827\\_How\\_Bacteria\\_Stick](https://www.researchgate.net/publication/22505827_How_Bacteria_Stick)>. Acesso em: 6 set. 2022.

CROOKS, W. **Contributions to molecular Physics in high vacua**. v. 28. London: Proceedings of the Royal Society of London, 1879.

CUI, H. *et al.* Anti-*Listeria monocytogenes* biofilm mechanism of cold nitrogen plasma. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 67, p. 102571, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856420305178>>. Acesso em: 24 out. 2022.

CUI, H. *et al.* Sequential effect of phages and cold nitrogen plasma against *Escherichia coli* O157:H7 biofilms on different vegetables. **International Journal of Food Microbiology**, v. 268, p. 1–9, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160518300047>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

DA SILVA, A. S. *et al.* *Quorum sensing* e suas implicações na formação de biofilme bacteriano em hospitais. **Journal of Infection Control**, v. 9, n. 1, p. 37-42, 2020.

DAVIES D. G., *et al.* The involvement of cell-to-cell signals in the development of a bacterial biofilm. **Science**. 280:295–98. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.280.5361.295>>. Acesso em: 20 set. 2022.

DENG, L.-Z. *et al.* Emerging chemical and physical disinfection technologies of fruits and vegetables: a comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 60, n. 15, p. 2481-2508, 2019. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2019.1649633>>. Acesso em: 29 ago. 2022.

DHIFI, W. *et al.* Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. **Medicines**, v. 3, n. 4, p. 25, 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5456241/>> . Acesso em: 12 set. 2022.

DIRCKX, P.; DAVIES, D.; 2005. Disponível em: <[http://www.genomenewsnetwork.org/articles/06\\_02/biofilms.shtml](http://www.genomenewsnetwork.org/articles/06_02/biofilms.shtml)> Acesso em 19 de setembro de 2022.

DO PRADO, D. B. *et al.* Effect of ultraviolet (UV-C) radiation on spores and biofilms of *Alicyclobacillus* spp. in industrialized orange juice. **International Journal of Food Microbiology**, v. 305, p. 108238, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160519301497>>. Acesso em: 06 set. 2022.

DONG, Y.; *et al.* Quenching quorum-sensing-dependent bacterial infection by an N-acyl homoserine lactonase. **Nature**, v. 411, n. 6839, p. 813–817, 2001. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/35081101>>. Acesso em: 27 set. 2022.

DRUMMOND, J. E. **Plasma Physics**. 1. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc, 1961.

EARNSHAW, R. G.; APPLEYARD, J.; HURST, R. M. Understanding physical inactivation processes: combined preservation opportunities using heat, ultrasound and pressure. **International Journal of Food Microbiology**, v. 28, n. 2, p. 197–219, 1995. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160595000577>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

EDRIS, A. E. Pharmaceutical and therapeutic Potentials of essential oils and their individual volatile constituents: a review. **Phytotherapy Research**, v. 21, n. 4, p. 308–323, 2007. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ptr.2072>>. Acesso em: 13 set. 2022.

EID, S. *et al.* Bacteriophage therapy as an alternative biocontrol against emerging multidrug resistant *E. coli* in broilers. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 5, p. 3380–3389, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X22000912>>. Acesso em: 24 out. 2022.

EL KADRI, H. *et al.* The antimicrobial efficacy of remote cold atmospheric plasma effluent against single and mixed bacterial biofilms of varying age. **Food Research International**, v. 141, p. 110126, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996921000235>>. Acesso em: 31 ago. 2022.

FERREIRA, L.C. **Métodos emergentes para controle de biofilmes na indústria de alimentos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Minas Gerais. 2022. 36p.

ZERAIK, A. E. **Biossurfactantes como agentes inibidores da adesão de patógenos em superfícies de poliestireno**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde->

26082009-104944/publico/ANAELIZAZeraikR.pdf>. Acesso em: 19 set. 2022.

GABRIEL, A. A. *et al.* Elimination of *Salmonella enterica* on common stainless steel food contact surfaces using UV-C and atmospheric pressure plasma jet. **Food Control**, v. 86, p. 90–100, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713517305339>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

GARCÍA, P. *et al.* Bacteriophages and their application in food safety. **Letters in Applied Microbiology**, v. 47, n. 6, p. 479–485, 2008. Disponível em: <<https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1472-765X.2008.02458.x>>. Acesso em: 04 out. 2022.

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: Manole, 2008. 1032p. Disponível em: <<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-689187>>. Acesso em: 17 out. 2022.

GORA, S. L. *et al.* Inactivation of biofilm-bound *Pseudomonas aeruginosa* bacteria using UVC light emitting diodes (UVC LEDs). **Water Research**, v. 151, p. 193–202, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135418310388>>. Acesso em: 08 set. 2022.

GOVAERT, M. *et al.* Influence of plasma characteristics on the efficacy of Cold Atmospheric Plasma (CAP) for inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella Typhimurium* biofilms. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**,

v. 52, p. 376-386, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856418308865>>. Acesso em: 01 set. 2022.

GRANDCLEMENT, C. *et al.* Quorum quenching: role in nature and applied developments. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 40, n. 1, p. 86–116, 2015. Disponível em: <<https://academic.oup.com/femsre/article/40/1/86/2467695>>. Acesso em: 27 set. 2022.

HAGENS, S.; OFFERHAUS, M. L. **Bacteriophages - New Weapons for Food Safety - IFT.org**. Food technology-champaign then Chicago, v. 62, n. 4, p. 46, 2008. Disponível em: <<https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2008/april/features/bacteriophages-new-weapons-for-food-safety>>. Acesso em: 04 out. 2022.

HAMMER, K. A.; CARSON, C. F. Antibacterial and Antifungal Activities of Essential Oils. **Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents**, p. 255–306, 2010. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470976623.ch11>>. Acesso em: 14 set. 2022.

HUDSON, J. A. *et al.* Bacteriophages as Biocontrol Agents in Food. **Journal of Food Protection**, v. 68, n. 2, p. 426–437, 2005. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15726992/>>. Acesso em: 04 out. 2022.

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential Oils in Food Preservation: Mode of Action, Synergies, and Interactions with Food Matrix Components. **Frontiers in Microbiology**, v. 3, 2012. Disponível em:

<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2012.00012/full>>. Acesso em: 14 set. 2022.

ISLAM, MD. S. *et al.* Application of a Phage Cocktail for Control of *Salmonella* in Foods and Reducing Biofilms. **Viruses**, v. 11, n. 9, p. 841, 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1999-4915/11/9/841/htm>>. Acesso em: 10 out. 2022.

JOSHI, S. G. *et al.* **Nonthermal Dielectric-Barrier Discharge Plasma-Induced Inactivation Involves Oxidative DNA Damage and Membrane Lipid Peroxidation in *Escherichia coli***. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, v. 55, n. 3, p. 1053–1062, 2011. Disponível em: <<https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/AAC.01002-10>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

KASNOWSKI, M. C. *et al.* Formação de biofilme na indústria de alimentos e métodos de validação de superfícies. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 8, n. 15, p. 1-23, 2010. Disponível em: <[http://www.faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/fxPTiYWerLkT9Si\\_2013-6-25-16-32-0.pdf](http://www.faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/fxPTiYWerLkT9Si_2013-6-25-16-32-0.pdf)>. Acesso em: 16 set. 2022.

KATSIKIANNIS, A. S. *et al.* Cold plasma decontamination of stainless steel food processing surfaces assessed using an industrial disinfection protocol. **Food Control**, v. 121, p. 107543, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095671352030459X?via%3Dihub#bib64>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

KEYSER, M. *et al.* Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 9, n. 3, p. 348–354, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856407001415>>. Acesso em: 05 set. 2022.

KIVES, J.; ORGAZ, B.; SANJOSÉ, C. Polysaccharide differences between planktonic and biofilm-associated EPS from *Pseudomonas fluorescens* B52. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 52, n. 2, p. 123–127, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927776506001470>>. Acesso em: 16 set. 2022.

KOUTCHMA, T. Advances in Ultraviolet Light Technology for Non-thermal Processing of Liquid Foods. **Food and Bioprocess Technology**, v. 2, n. 2, p. 138–155, 2009. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-008-0178-3>>. Acesso em: 05 set. 2022.

KOUTCHMA, T. **Ultraviolet LED Technology for Food Applications**. 1. ed. Cambridge: Academic Press, 2019b.

KOUTCHMA, T. **Ultraviolet Light in Food Technology**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2019a.

KUTTER, E; SULAKVELIDZE, A. **Bacteriophages Biology and Applications**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.

LI, H. *et al.* Inhibition mechanism of cyclo (L-Phe-L-Pro) on early stage *Staphylococcus aureus* biofilm and its application on food contact surface. **Food Bioscience**, v. 49, p. 101968, 2022. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221242922200428X>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

LI, J.; AHN, J.; LIU, D. *et al.* Evaluation of Ultrasound-Induced Damage to *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* by Flow Cytometry and Transmission Electron Microscopy. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 82, n. 6, p. 1828–1837, 2016. Disponível em: <<https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/AEM.03080-15>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

LIEBERMAN, M. A.; LICHTENBERG, A. J. **Principles of Plasma Discharges and Materials Processing**. 2 ed. New Jersey: Wiley Interscience, 2005.

LIN, L. *et al.* Inhibitory effect of cold nitrogen plasma on *Salmonella Typhimurium* biofilm and its application on poultry egg preservation. **LWT**, v. 126, p. 109340, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820303297>>. Acesso em: 01 set. 2022.

LIU, F. *et al.* Antibacterial and antibiofilm activity of phenyllactic acid against *Enterobacter cloacae*. **Food Control**, v. 84, p. 442–448, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713517304371>>. Acesso em: 2 set. 2022.

LIU, Y. *et al.* Inhibitory effects of clove and oregano essential oils on biofilm formation of *Salmonella Derby* isolated from beef processing plant. **LWT**, v. 162, p. 113486, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643822004212>>. Acesso em: 21 set. 2022.

LU, J.; HU, X.; REN, L. Biofilm control strategies in food industry: Inhibition and utilization. **Trends in Food Science & Technology**, v. 123, p. 103–113, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224422000929>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

LUNOV, O. *et al.* Non-thermal plasma kills bacteria: Scanning electron microscopy observations. **Applied Physics Letters**, v. 106, n. 5, p. 053703, 2015. Disponível em: <<https://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/1.4907624>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

MA, B. *et al.* Inactivation of biofilm-bound bacterial cells using irradiation across UVC wavelengths. **Water Research**, v. 217, p. 118379, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135422003414>>. Acesso em: 08 set. 2022.

MARTIN, J. G. P. *et al.* **Biofilmes bacterianos na indústria de alimentos**. In: ANAIS DO I WORKSHOP DE CIÊNCIAS DA APG/ESALQ: “O DESPERTAR PROFISSIONAL”. p. 18. Disponível em: <[http://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/avisos/ANAIS\\_WORKSHOP\\_CIENCIAS\\_APG\\_FINAL.pdf#page=19](http://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/avisos/ANAIS_WORKSHOP_CIENCIAS_APG_FINAL.pdf#page=19)>. Acesso em: 19 set. 2022.

MASCARENHAS, F. C. C. *et al.* **Um estudo sobre os impactos dos biofilmes microbianos nas indústrias**. In: XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, p.1-6, 2010. Disponível em: <[https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2010/anais/arquivos/0762\\_0718\\_01.pdf](https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/0762_0718_01.pdf)>. Acesso em: 6 set. 2022.

MASOTTI, V. *et al.* Seasonal and Phenological Variations of the Essential Oil from the Narrow Endemic Species *Artemisia molinieri* and Its Biological Activities. ACS Publications. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 51, n. 24, p. 7115-7121, 2003. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf034621y>>. Acesso em: 13 set. 2022.

MENOITA, E. *et al.* Biofilms: Knowing the Entity. **Journal of Aging & Innovation**, v. 1, n. 2, p. 23–32, 2012. Disponível em: <<http://www.journalofagingandinnovation.org/wp-content/uploads/3-Biofilmes-conhecer-a-Entidade.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2022.

MICHIELS, C.W. Biofilm formation and the food industry, a focus on the bacterial outer surface. **Journal of Applied Microbiology**, v. 109, n. 4, p. 1117–1131, 2010. Disponível em: <<https://sfamjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2672.2010.04756.x>>. Acesso em: 20 set. 2022.

MILLEZI, A. F. *et al.* Antibacterial and anti-biofilm activity of cinnamon essential oil and eugenol. **Ciência Rural**, v. 49, n. 1, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/jj/cr/a/fg9LBT4Vr8GR4gFt9KqBYhk/?lang=en>>. Acesso em: 19 set. 2022.

MISHRA, R. *et al.* Natural Anti-biofilm Agents: Strategies to Control Biofilm-Forming Pathogens. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, 2020. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.566325/full>>. Acesso em: 26 set. 2022.

MITTELMAN, M. W. Structure and Functional Characteristics of Bacterial Biofilms in Fluid Processing Operations. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 10, p. 2760–2764, 1998. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030298758333>>. Acesso em: 20 set. 2022.

MOHAN, A.; PUROHIT, A. S. Anti-*Salmonella* activity of pyruvic and succinic acid in combination with oregano essential oil. **Food Control**, v. 110, p. 106960, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713519305493>>. Acesso em: 21 set. 2022.

MOLINA, R. D. I. *et al.* Laurel extracts inhibit Quorum sensing, virulence factors and biofilm of foodborne pathogens. **LWT**, v. 134, p. 109899, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820308884>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

MÜCKE, N. *et al.* **Sensibilidade celular e de biofilme de *Enterococcus* sp. aos desinfetantes de uso industrial.** 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2184>>. Acesso em: 27 out. 2022.

NAHAR, S. *et al.* Inhibitory effects of *Flavourzyme* on biofilm formation, quorum sensing, and virulence genes of foodborne pathogens *Salmonella Typhimurium* and *Escherichia coli*. **Food Research International**, v. 147, p. 110461, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996921003604#b0140>>. Acesso em: 30 set. 2022.

NIKOLAEV Y. A, PLAKUNOV V. K. Biofilm - “city of microbes” or an analogue of multicellular organisms? **Mikrobiologiya**. 2007; 76 (2): 149-63. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1134/S0026261707020014.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2022.

OLIVEIRA, M. M. M.; BRUGNERA, D. F.; PICCOLI, R. H. Biofilmes microbianos na indústria de alimentos: uma revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 3, p. 277-284, 2010 Disponível em: <<https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/32626/31457>>. Acesso em: 13 set. 2022.

PANKAJ, S. K.; KEENER, K. M. Cold plasma: background, applications and current trends. **Current Opinion in Food Science**, v. 16, p. 49-52, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214799316301278>>. Acesso em: 29 ago. 2022.

PATANGE, A. *et al.* High voltage atmospheric cold air plasma control of bacterial biofilms on fresh produce. **International Journal of Food Microbiology**, v. 293, p. 137-145, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160518304057>> . Acesso em: 31 ago. 2022.

PELCZAR, M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: Volume 1: Conceitos e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Pearson Universidades, 1996.

PENG, L. Y. *et al.* Rutin inhibits quorum sensing, biofilm formation and virulence genes in avian pathogenic *Escherichia coli*. **Microbial Pathogenesis**, v. 119, p. 54–59, 2018. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0882401018300299>>. Acesso em: 26 set. 2022.

PEREIRA, A. A. **Estudo da atividade bactericida de óleos essenciais sobre células planctônicas e sésseis de *Salmonella* spp.** Universidade Federal de Lavras: Dissertação, 2014. Disponível em: <<https://bityli.com/WaVMnOAIo>>. Acesso em: 19 set. 2022.

PIYASENA, P.; MOHAREB, E.; MCKELLAR, R. C. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 87, n. 3, p. 207–216, 2003. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160503000758>>. Acesso em: 1 set. 2022.

RAJESH P. *et al.* Isoeugenol suppresses multiple quorum sensing regulated phenotypes and biofilm formation of *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. **Natural Product Research**, v. 36, n. 6, p. 1663–1667, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S1478641922038608>>. Acesso em: 3 out. 2022.

RODRIGUES, A. C. *et al.* Phenolic extract of *Eugenia uniflora* L. and furanone reduce biofilm formation by *Serratia liquefaciens* and increase its susceptibility to antimicrobials. **Biofouling**, v. 36, n.9, p. 1031-1048, 2020. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08927014.2020.1844881?scroll=top&needAccess=true&role=tab>>. Acesso em: 11 dez. 2022.

RODRIGUES, J. B. DOS S. *et al.* Efficacy of using oregano essential oil and carvacrol to remove young and mature *Staphylococcus aureus* biofilms on food-contact surfaces of

stainless steel. **LWT**, v. 93, p. 293–299, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818302767>>. Acesso em: 24 out. 2022.

RONNER, AMY B. ; WONG, AMY C. L. Biofilm Development and Sanitizer Inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* on Stainless Steel and Buna-n Rubber. **Journal of Food Protection**, v. 56, n. 9, p. 750–758, 1993. Disponível em: <<https://meridian.allenpress.com/jfp/article/56/9/750/166676/Biofilm-Development-and-Sanitizer-Inactivation-of>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

ROY, P. K. *et al.* Elimination of *Vibrio parahaemolyticus* biofilms on crab and shrimp surfaces using ultraviolet C irradiation coupled with sodium hypochlorite and slightly acidic electrolyzed water. **Food Control**, v. 128, p. 108179, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713521003170>>. Acesso em: 08 set. 2022.

SADEKUZZAMAN, M. *et al.* Activity of thyme and tea tree essential oils against selected foodborne pathogens in biofilms on abiotic surfaces. **LWT**, v. 89, p. 134–139, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643817307958>>. Acesso em: 19 set. 2022.

SHAO, L. *et al.* Modeling the elimination of mature biofilms formed by *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp. Using combined ultrasound and disinfectants. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 69, p. 105269, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417720306799>>. Acesso em: 8 set. 2022.

SHARAH, J. Y. *et al.* Advanced strategies for combating bacterial biofilms. **Journal of Cellular Physiology**, v. 234, n. 9, p. 14689–14708, 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jcp.28225>>. Acesso em: 27 set. 2022.

SHI, H.; CHEN, Z. Z.; CHEN, D.; KAN, J. Q. Sublethal injury and recovery of *Escherichia coli* O157:H7 and K-12 after exposure to lactic acid. **Food Control**, v. 82, p. 190–195, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713517303158>>. Acesso em: 2 set. 2022.

SHIN, J.-Y. *et al.* Fundamental Characteristics of Deep-UV Light-Emitting Diodes and Their Application To Control Foodborne Pathogens. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 82, n. 1, p. 2-10, 2016. Disponível em: <<https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/AEM.01186-15>>. Acesso em: 06 set. 2022.

SHIVAPRASAD, D. P. *et al.* In vitro and in situ abrogation of biofilm formation in *E. coli* by vitamin C through ROS generation, disruption of quorum sensing and exopolysaccharide production. **Food Chemistry**, v. 341, p. 128171, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814620320331>>. Acesso em: 30 set. 2022.

SILLANKORVA, S. M.; OLIVEIRA, H.; AZEREDO, J. Bacteriophages and Their Role in Food Safety. **International Journal of Microbiology**, v. 2012, p. 1–13, 2012. Disponível em:

<<https://www.hindawi.com/journals/ijmicro/2012/863945/>>  
. Acesso em: 04 out. 2022.

SILVA-ESPINOZA, B. A. *et al.* Combination of ultraviolet light-C and clove essential oil to inactivate *Salmonella Typhimurium* biofilms on stainless steel. **Journal of Food Safety**, v. 40, n. 3, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfs.12788>>. Acesso em: 07 set. 2022.

SINDE, E; CARBALLO, J. Attachment of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* to stainless steel, rubber and polytetrafluorethylene: the influence of free energy and the effect of commercial sanitizers. **Food Microbiology**, v. 17, n. 4, p. 439–447, 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002000903393>>. Acesso em: 20 set. 2022.

SKANDAMIS, P. N.; NYCHAS, G. J. E. Quorum sensing in the context of food microbiology. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 16, p. 5473-5482, 2012. Disponível em: <<https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/AEM.00468-12>>. Acesso em: 30 set. 2022.

SLAVKIN, H. C. Biofilms, Microbial Ecology And Antoni Van Leeuwenhoek. **The Journal of the American Dental Association**, v. 128, n. 4, p. 492–495, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002817715608315>>. Acesso em: 6 set. 2022.

SOUZA, E. L. *et al.* Biofilm formation by *Staphylococcus aureus* from food contact surfaces in a meat-based broth and sensitivity to sanitizers. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.

45, n. 1, p. 67–75, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bjm/a/RmkggPVPLtmKCS7S8M6Pp3m/?lang=en>>. Acesso em: 15 set. 2022.

STOODLEY, P. *et al.* Biofilms as complex differentiated communities. **Annual Review of Microbiology**, v. 56, p. 187–209, 2002. Disponível em: <<http://www.dna.caltech.edu/courses/cs191/paperscs191/biofilms2002.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2020.

SUBRAMANI, R.; JAYAPRAKASHVEL, M. Bacterial Quorum Sensing: Biofilm Formation, Survival Behaviour and Antibiotic Resistance. Implication of Quorum Sensing and **Biofilm Formation in Medicine, Agriculture and Food Industry**, p. 21–37, 2019. Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-32-9409-7\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-32-9409-7_3)>. Acesso em: 27 set. 2022.

SUN, J. *et al.* Contribution of ultrasound in combination with chlorogenic acid against *Salmonella enteritidis* under biofilm and planktonic condition. **Microbial Pathogenesis**, v. 165, p. 105489, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0882401022001024#bib25>>. Acesso em: 2 set. 2022.

SUN, J. *et al.* The combination of ultrasound and chlorogenic acid to inactivate *Staphylococcus aureus* under planktonic, biofilm, and food systems. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 80, p. 105801, dez. 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417721003436>>. Acesso em: 29 set. 2022.

SURGURG, H.; JOHANNES, P. **Common Fragrance and Flavor Materials**. 5 ed. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006.

TIMMONS, C. *et al.* Inactivation of *Salmonella enterica*, Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, and *Listeria monocytogenes* by a novel surface discharge cold plasma design. **Food Control**, v. 84, p. 455–462, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713517304401?via%3Dihub>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

TOUSHIK, S. H. *et al.* Antibiofilm efficacy of *Leuconostoc mesenteroides* J.27-derived postbiotic and food-grade essential oils against *Vibrio parahaemolyticus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Escherichia coli* alone and in combination, and their application as a green preservative in the seafood industry. **Food Research International**, v. 156, p. 111163, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996922002204>>. Acesso em: 20 set. 2022.

TURHAN, E. U. *et al.* Investigation of synergistic antibacterial effect of organic acids and ultrasound against pathogen biofilms on lettuce. **Food Bioscience**, v. 47, p. 101643, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221242922200102X#!>>. Acesso em: 3 set. 2022.

VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, D. *et al.* Control of *Staphylococcus aureus* biofilms by the application of single and combined treatments based in plant essential oils. **International Journal of Food Microbiology**, v. 286, p. 128–138, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com>

/science/article/abs/pii/S0168160518305063>. Acesso em: 20 set. 2022.

VIDÁCS, A. *et al.* Optimization of essential oil-based natural disinfectants against *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* biofilms formed on polypropylene surfaces. **Journal of Molecular Liquids**, v. 255, p. 257–262, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732217354697>>. Acesso em: 20 set. 2022.

WANG, C. *et al.* Bacteriophage biocontrol of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) O145 biofilms on stainless steel reduces the contamination of beef. **Food Microbiology**, v. 92, p. 103572, 2020. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32950157/>>. Acesso em: 11 out. 2022.

WEI, L. N. *et al.* Phloretin inhibits biofilm formation by affecting quorum sensing under different temperatures. **LWT**, v. 131, p. 109668, set. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820306575>>. Acesso em: 13 out. 2022.

WITTE, S. *et al.* Application of bacteriophages EP75 and EP335 efficiently reduces viable cell counts of *Escherichia coli* O157 on beef and vegetables. **Food Microbiology**, v. 104, p. 103978, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002022000028>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

YIN, L. *et al.* Inhibition of biofilm formation and quorum sensing by soy isoflavones in *Pseudomonas aeruginosa*. **Food Control**, v. 133, p. 108629, 2022. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713521007672>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

YOON, J.-H. *et al.* Food residuals on the food-contacting surfaces of stainless steel and polypropylene influence the efficacy of ultraviolet light in killing foodborne pathogens. **Journal of Food Safety**, v. 38, n. 5, p. e12506, 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfs.12506>>. Acesso em: 07 set. 2022.

YU, H. *et al.* Synergistic efficacy of high-intensity ultrasound and chlorine dioxide combination for *Staphylococcus aureus* biofilm control. **Food Control**, v. 122, p. 107822, 2021b. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713520307386#!>>. Acesso em: 8 set. 2022.

YU, H. *et al.* Ultrasound-involved emerging strategies for controlling foodborne microbial biofilms. **Trends in Food Science & Technology**, v. 96, p. 91–101, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092422441930559X>>. Acesso em: 1 set. 2022.

YU, T. *et al.* The effect of sublethal concentrations of benzalkonium chloride on the LuxS/AI-2 quorum sensing system, biofilm formation and motility of *Escherichia coli*. **International Journal of Food Microbiology**, v. 353, p. 109313, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160521002725>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

ZERAIK, A. E. **Biossurfactantes como agentes inibidores da adesão de patógenos em superfícies de poliestireno**. 2009.

Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em:

<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-26082009-104944/publico/ANAELIZAZeraikR.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2022.

ZHANG, Y. *et al.* Application of endolysin LysSTG2 as a potential biocontrol agent against planktonic and biofilm cells of *Pseudomonas* on various food and food contact surfaces. **Food Control**, v. 131, p. 108460, 2022a. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713521005983>>. Acesso em: 06 out. 2022.

ZHANG, Y. *et al.* Effects of bacteriophage on inhibition and removal of mixed biofilm of enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 and O91:H-. **LWT**, v. 134, p. 109945, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643820309348>>. Acesso em: 11 out. 2022.

ZHANG, Y. *et al.* Inactivation of mixed *Escherichia coli* O157:H7 biofilms on lettuce by bacteriophage in combination with slightly acidic hypochlorous water (SAHW) and mild heat treatment. **Food Microbiology**, v. 104, p. 104010, 2022b. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S074000202200034X>>. Acesso em: 10 out. 2022.

ZOU, Y. *et al.* Dual-Functional Surfaces Based on an Antifouling Polymer and a Natural Antibiofilm Molecule: Prevention of Biofilm Formation without Using Biocides. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 13, n. 38, p. 45191–45200, 2021. Disponível em:

<<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsami.1c10747>>.  
Acesso em: 29 set. 2022.

ZOU, Y. *et al.* Three lines of defense: A multifunctional coating with anti-adhesion, bacteria-killing and anti-quorum sensing properties for preventing biofilm formation of *Pseudomonas aeruginosa*. **Acta Biomaterialia**, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1742706122004846#bib0034>>. Acesso em: 29 set. 2022.

ISBN: 978-65-88389-32-4

**CD**



9 786588 389324