Revista Eletrônica
Acervo Saúde
Electronic Journal Collection Health ISSN 2178-2091

Efeito dos sanitizantes naturais na redução de *Escherichia coli* O157:H7 e *Salmonella* spp em folhas de alface

Effect of natural sanitizers on the reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella spp* on lettuce leaves

Efecto de los sanitizantes naturales en la reducción *de Escherichia coli* O157:H7 y *Salmonella spp* en hojas de lechuga

Juliana da Silveira[1], Luiza Oliveira Pinheiro da Silva[2], Natália de Almeida Corrêa Alfredo[3], Sila Mary Rodrigues Ferreira[1], Obdulio Gomes Miguel[1].

RESUMO

Objetivo: Avaliar a eficácia de sanitizantes naturais, como extratos vegetais e óleos essenciais, na redução de *Escherichia coli* O157:H7 e *Salmonella* spp. em folhas de alface. **Métodos:** Por meio de revisão integrativa da literatura foram selecionados artigos publicados até abril de 2025, localizados nas bases PubMed, Science Direct, SciELO e EBSCO. Os critérios de inclusão abrangeram estudos que analisaram a ação antimicrobiana de óleos essenciais ou extratos vegetais em variedades de alface contaminadas com *E. coli* O157:H7 e *Salmonella* spp. **Resultados:** Dos 234 estudos inicialmente identificados, sete atenderam aos critérios estabelecidos. Os sanitizantes naturais apresentaram redução média de 1,55 log UFC/g, superior à da água (0,5 log UFC/g; $p < 0,001$) e semelhante ao cloro (1,95 log UFC/g; $p = 0,274$). O óleo essencial de tomilho destacou-se com reduções superiores a 3 log UFC/g. Não houve diferenças significativas entre os microrganismos e tipos de sanitizantes. Variáveis como concentração, tempo de tratamento e secagem não influenciaram a eficácia. **Considerações finais:** Apesar da variabilidade, sanitizantes naturais mostram-se promissores, especialmente se aliados a tecnologias como a microencapsulação. A ausência de padronização destaca a necessidade de mais pesquisas para garantir a segurança e aplicação comercial.

Palavras-chave: Óleo essencial, Extrato vegetal, *Lactuca sativa*, Doenças transmitidas por alimentos.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effectiveness of natural sanitizers, such as plant extracts and essential oils, in reducing *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. on lettuce leaves. **Methods:** This is a integrative literature review. Articles published up to April 2025 were selected from the PubMed, ScienceDirect, SciELO, and EBSCO databases. Inclusion criteria considered studies that analyzed the antimicrobial action of essential oils or plant extracts on varieties of lettuce contaminated with *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. **Results:** Of the 234 studies initially identified, seven met the inclusion criteria. Natural sanitizers achieved an average microbial reduction of 1.55 log CFU/g, higher than water (0.5 log CFU/g; $p < 0.001$) and like chlorine-based sanitizers (1.95 log CFU/g; $p = 0.274$). Thyme essential oil stood out, achieving reductions greater than 3 log CFU/g. No significant differences were observed between microorganisms or between types of natural sanitizers. Variables such as concentration, treatment time, and drying of leaves did not influence efficacy. **Final considerations:** Despite variability, natural sanitizers appear promising, especially when combined with technologies such as microencapsulation. The lack of standardization highlights the need for further research to ensure safety and commercial application.

Keywords: Essential oil, Plant extract, *Lactuca sativa*, Foodborne diseases.

[1] Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba - PR.
[2] Hospital Sírio-Libanês, São Paulo - SP.
[3] Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba - PR.

SUBMETIDO EM: 7/2025 | **ACEITO EM: 8/2025** | **PUBLICADO EM: 9/2025**

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la eficacia de desinfectantes naturales, como aceites esenciales y extractos vegetales, en la reducción de *Escherichia coli* O157:H7 y *Salmonella* spp. en hojas de lechuga. **Métodos:** Se realizó una revisión integrativa de la literatura. Se seleccionaron artículos publicados hasta abril de 2025 en las bases PubMed, ScienceDirect, SciELO y EBSCO. Se incluyeron estudios que analizaron la acción antimicrobiana de aceites esenciales o extractos vegetales en variedades de lechuga contaminadas con *E. coli* O157:H7 y *Salmonella* spp. **Resultados:** De 234 estudios, siete cumplieron los criterios. Los desinfectantes naturales lograron una reducción microbiana promedio de 1,55 log UFC/g, superior al agua (0,5 log UFC/g; $p < 0,001$) y similar al cloro (1,95 log UFC/g; $p = 0,274$). El aceite esencial de tomillo destacó con reducciones mayores a 3 log UFC/g. No se observaron diferencias significativas entre microorganismos ni tipos de desinfectantes. Concentración, tiempo de tratamiento y secado no afectaron la eficacia. **Consideraciones finales:** Los desinfectantes naturales son una alternativa prometedora, especialmente cuando se combinan con tecnologías como la microencapsulación. La falta de estandarización metodológica requiere más estudios para garantizar su seguridad y aplicación comercial.

Palabras clave: Aceite esencial, Extracto vegetal, *Lactuca sativa*, Enfermedades transmitidas por alimentos.

INTRODUÇÃO

No contexto da alimentação cotidiana, é fundamental considerar a qualidade dos alimentos consumidos. Uma dieta saudável deve ser composta por vitaminas, minerais, fibras e compostos bioativos, tendo as hortaliças e frutas como uma das principais fornecedoras desses nutrientes. É recomendável, para adultos, a ingestão de um mínimo de 400g ou 5 porções por dia desses alimentos (WHO, 2020). Entretanto, se esses não dispõem de qualidade higiênico-sanitária satisfatória podem oferecer riscos biológicos à saúde como o desenvolvimento de doenças transmitidas por alimentos (BHATIA R, et al., 2024).

Desse modo, a higienização de produtos hortifrutícolas é de grande importância, principalmente para aqueles que são consumidos crus e/ou apenas minimamente processados, como é o caso das hortaliças folhosas. A prática da higienização nesses vegetais, é de extrema importância uma vez que além de promover a redução da flora nativa e de microrganismos deteriorantes também auxilia na descontaminação de bactérias patogênicas (LIMA MC e SOUZA E, 2020).

Usualmente nos domicílios e nas indústrias de hortifrutícolas, utiliza-se as soluções coloradas, entre elas o hipoclorito de sódio (NaClO) para higienizar vegetais folhosos devido ao custo, fácil uso, boa eficácia e baixo impacto na qualidade final do produto (ALLENDEA et al., 2008; FAN X e SOKORAI KJ, 2015). No entanto, há evidências de que a interação entre o cloro e a matéria orgânica presente nos alimentos ou na água pode originar subprodutos de desinfecção, como trihalometanos, cloraminas e ácidos haloacéticos. Esses compostos são considerados cancerígenos, logo são prejudiciais para humanos e o meio ambiente. Dessa forma, alguns países europeus proibiram o uso do cloro para descontaminar vegetais, como Alemanha, Suíça, Holanda, Dinamarca e Bélgica, e ou limitaram seu uso a 100 mg/L HOCl (pH 6,5, 1 min) como é o caso da Espanha (FAN X e SOKORAI K, 2015; LOAN HNB, et al., 2016).

Assim, nos últimos anos, a busca por agentes antimicrobianos naturais e menos prejudiciais ao meio ambiente, como substitutos dos sanitizantes à base de cloro, tem recebido crescente interesse. Entre esses agentes antimicrobianos estão os provenientes de óleos essenciais (LIMA MC e SOUZA E, 2020) e extratos vegetais (KIM SY, et al., 2011; LEE CH, et al., 2021; WONG JX, et al., 2021; KANG J e SONG KB, 2018). Esses produtos naturais, possuem compostos bioativos concentrados, que atuam de maneira sinérgica e têm a capacidade de inibir, inativar e impedir o crescimento e a adesão de microrganismos nos alimentos (ZAMUZ S, et al., 2021; YU K, et al., 2021).

Portanto, considerando que *Salmonella* spp. e *Escherichia coli* O157:H7 estão entre os principais agentes de surtos alimentares associados ao consumo de produtos frescos em todo o mundo(THOMAS GA, et al., 2024), e que a alface (*Lactuca sativa*) figura entre as hortaliças folhosas de maior cultivo e consumo global, representando uma cultura de elevada importância socioeconômica (LOZANO IM, et al., 2021; QIN YM, et al., 2025), este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de sanitizantes naturais na redução de *E. coli* O157:H7 e *Salmonella* spp. em folhas de alface, visando oferecer alternativas seguras e sustentáveis para o processamento pós-colheita.

MÉTODOS

Para realizar esta revisão integrativa, foram analisados estudos que investigaram o efeito de sanitizantes naturais, elaborados a partir de extratos vegetais, na redução de *E. coli* O157:H7 e *Salmonella* spp em variedades de alface. Os estudos foram incluídos independentemente do desfecho avaliado, desde que apresentassem as seguintes informações: nome dos produtos naturais utilizados, concentração e tempo de ação do sanitizante natural, e dados sobre a redução microbiana em escala logarítmica.

Como critérios de inclusão, foram considerados artigos publicados até abril de 2025, nos idiomas inglês, espanhol ou português. Foram excluídos da revisão os estudos que não utilizaram *L. sativa* nos experimentos de higienização, empregaram extratos vegetais em combinação com outras substâncias ou associaram o uso a métodos não químicos de sanitização, analisaram microrganismos distintos de *E. coli* O157:H7 ou *Salmonella* spp., não utilizaram o método de sanitização por imersão, ou seja, não submergiram as folhas de alface na solução antimicrobiana, e/ ou não realizaram a inoculação dos patógenos por meio da aplicação de gotículas sobre a superfície das folhas. As buscas foram realizadas nas bases Pubmed, Sciencedirect, Scielo e EBSCO. A estratégia de busca está descrita no **Quadro 1**.

Quadro 1 - Estratégia de busca

Base de dado	Estratégia de busca	Campo pesquisado
PubMed	(*lettuce* OR "*Lactuca sativa*" OR "*L. sativa*") AND ("*Escherichia coli*" OR *Salmonella*) AND (decontamination OR "antimicrobial activities" OR inactivation OR reduction OR "antibacterial effect" OR sanitization) AND (extract OR oil)	Todos os índices
Science direct	(lettuce OR "*Lactuca sativa*" OR "*L. sativa*") AND ("*Escherichia coli*" OR *salmonella*) AND (decontamination) AND (extract OR oil)	Título, resumo e palavras-chave
	(lettuce OR "*Lactuca sativa*" OR "*L. sativa*") AND ("*Escherichia coli*" OR salmonella) AND ("antimicrobial activities") AND (extract OR oil)	
	(lettuce OR "*Lactuca sativa*" OR "*L. sativa*") AND ("*Escherichia coli*" OR *salmonella*) AND (inactivation) AND (extract OR oil)	
	(lettuce OR "*Lactuca sativa*" OR "*L. sativa*") AND ("*Escherichia coli*" OR *salmonella*) AND (reduction) AND (extract OR oil)	
	(lettuce OR "*Lactuca sativa*" OR "*L. sativa*") AND ("*Escherichia coli*" OR *salmonella*) AND ("antibacterial effect") AND (extract OR oil)	
	(lettuce OR "*Lactuca sativa*" OR "*L. sativa*") AND ("*Escherichia coli*" OR *salmonella*) AND (sanitization) AND (extract OR oil)	
Scielo	(lettuce OR "*Lactuca sativa*" OR "*L. sativa*") AND ("*Escherichia coli*" OR *salmonella*) AND (decontamination OR "antimicrobial activities" OR inactivation OR reduction OR "antibacterial effect" OR sanitization) AND (extract OR oil)	Todos os índices
EBSCO	(lettuce OR "*Lactuca sativa*" OR "*L. sativa*") AND ("*Escherichia coli*" OR *salmonella*) AND (decontamination OR "antimicrobial activities" OR inactivation OR reduction OR "antibacterial effect" OR sanitization) AND (extract OR oil)	Todos os índices

Fonte: Silveira, J, et al., 2025.

Após a primeira triagem, foram excluídos os artigos duplicados, pelo título. Em seguida, foi feita a leitura dos títulos e resumos com a intenção de selecionar os estudos para serem lidos na íntegra. Também foram avaliadas as referências dos artigos selecionados, com o objetivo de incluir novos estudos na revisão.

Para a análise estatística, inicialmente, a normalidade e a homogeneidade das amostras foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene (ou teste F), respectivamente. Para a comparação entre os grupos de sanitizantes naturais, controle negativo (água ou água destilada) e controle positivo (cloro ou hipoclorito de sódio), foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn com correção de Bonferroni, quando identificadas diferenças significativas. Esse mesmo procedimento foi utilizado para analisar diferentes tipos de sanitizantes e as respectivas concentrações.

As comparações entre as classes de compostos naturais (óleos essenciais e extratos vegetais) e entre os microrganismos alvos (*E. coli O157:H7* e *Salmonella* spp.) foram realizadas com o teste de Mann-Whitney.

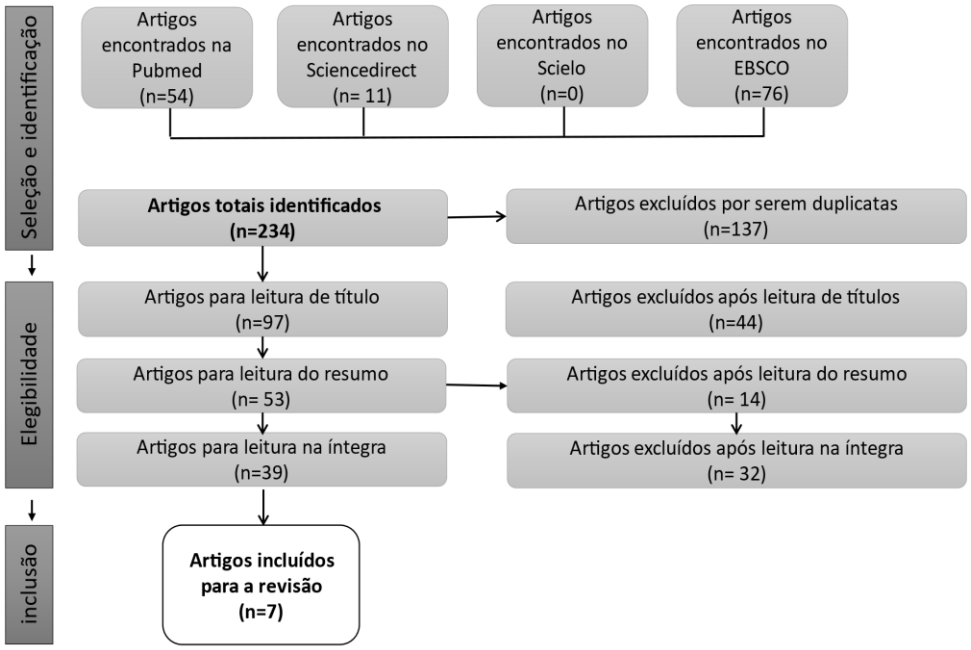
A frequência relativa das faixas de redução logarítmica também foi analisada para identificar padrões predominantes de resposta antimicrobiana. Além disso, possíveis associações entre a redução microbiana e variáveis experimentais como concentração (mg/mL), tempo de ação do sanitizante (min), área do vegetal (cm2), proporção vegetal: sanitizante (g:mL) e tempo de secagem após a inoculação (h) foram avaliadas com o coeficiente de correlação de Spearman.

Todas as análises foram realizadas com nível de significância de $p < 0,05$. Os dados extraídos dos estudos foram organizados em planilhas no Microsoft Excel 365®e as análises estatísticas foram conduzidas no IBM SPSS Statistics®, versão 21.

RESULTADOS

Após estratégia de busca nos bancos de dados Pubmed, Sciencedirect, Scielo e EBSCO foram encontrados respectivamente 54, 11, 0 e 76 artigos, totalizando 234. Entretanto, desses, 97 artigos foram excluídos por serem duplicatas. Portanto, após leitura dos títulos e resumos, 38 foram selecionados para leitura na íntegra e apenas 7 foram incluídos na revisão, como demonstra a **Figura 1**.

Figura 1 - Diagrama de fluxo do processo de seleção de artigos



Fonte: Silveira, J, et al., 2025.

Com base nos estudos incluídos nesta revisão, observa-se uma diversidade de metodologias aplicadas na avaliação da eficácia dos sanitizantes naturais sobre microrganismos em folhas de alface (**Tabela 1**). Os estudos analisados apresentaram principalmente variações em relação ao produto natural avaliado (extrato ou óleo essencial), a variedade de alface, área do vegetal (entre 9 e 52,5 cm²), proporção entre massa de hortaliça e volume de sanitizante (1:100 a 1:8), a concentração do sanitizante natural (0,025 a 1000 mg/mL), tempo de tratamento (de 0 a 20 min) condições de secagem após a aplicação do inóculo bacteriano, condições de incubação antes da realização dos tratamentos, além da espécie do patógeno analisado (*E. coli* O157:H7 e/ ou *Salmonella* spp).

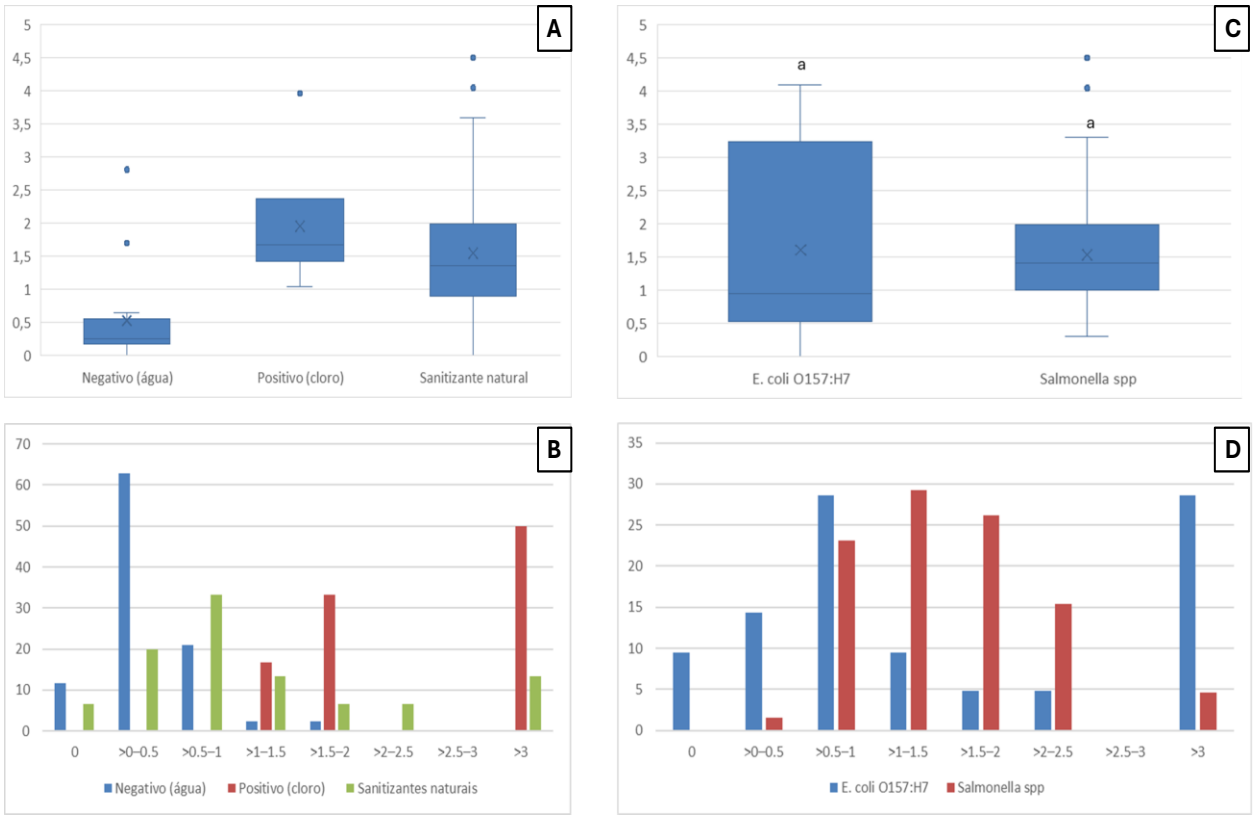
Tabela 1 - Produtos naturais avaliados como sanitizantes em variedades de alface.

Produto	Concentração (mg/mL)	Tempo de ação (min)	Variedade de alface	Área das folhas (cm²)	Hortaliça: sanitizante (g/mL)	Patógeno analisado	Tempo (h) e Temperatura (°C) de secagem após a inoculação (h)	Tempo e Temperatura (°C) de incubação antes do tratamento e (h)	Resultado (log UFC/g)
Óleo de tomilho[1]	1	5	Alface romana	9	1:20	*E. coli* O157:H7	1 h a 22°C	0 h,6 h e 24h a 5°C	Redução de 3,32 a 4,04
Óleo de folhas de murta[2]	0,5, 0,75 e 1	5,10,15 e 20	Alface americana	12	1:20	*S. Typhimurium*	2 h a 22 °C	22 h a 4 °C	Redução de 0,72 a 1,66.
Óleo de orégano[3]	0,025, 0,04 e 0,075	5,10,15 e 20	Alface americana e alface romana	12	1:20	*S. Typhimurium*	2 h a 22 °C	22 h a 4°C	Redução 0,68 a 2,26.
Extrato de cravo[4]	10, 50 e 1000	0,1,3,5,10	Não informou a variedade	15	1:8	*E. coli* O157:H7 e *S. Typhimurium*	2h (Não informa a temperatura)	não teve	Redução de 0,3 a 4,5
Óleo de orégano[5]	0,5	1, 5 e 10	Alface americana	12	1:100	*E. coli* O157:H7	0, 0,5, 1 e 2	não teve	Redução de 1 a 2,47.
Extrato de casca de amendoim[6]	3	1, 3, 5 e 8	Alface romana	9	1:100	*E. coli* O157:H7	1,5	não teve	Redução de 0,58 a 0,95.
Extrato de *Centella asiática*[7]	250	5	Não informou a variedade	52,5	NI	*E. coli* O157:H7	0,5	não teve	Não houve redução para os experimentos avaliados nessa revisão

Legenda: 1 – Singh N, et al., 2002; 2 – Gündüz GT, et al., 2009; 3 – Gündüz GT, et al., 2010; 4 - Kim SY, et al., 2011; 5 - Gündüz GT, et al., 2012; 6 - Lee CH, et al., 2021; 7 – Wong JX, et al., 2021.
Fonte: Silveira J, et al., 2025.

Desse modo, a partir da análise dos experimentos, observou-se que os sanitizantes naturais promoveram uma redução média de 1,55 log UFC/g dos microrganismos (n = 84) (**Figura 2A**). O controle negativo, representado por água ou água destilada, apresentou uma média de redução de 0,5 log UFC/g (n = 17), enquanto o controle positivo, com cloro ou hipoclorito de sódio, atingiu 1,95 log UFC/g (n = 6). A análise estatística indicou diferenças significativas entre os tratamentos quanto à redução microbiana ($p < 0,001$). O controle negativo apresentou reduções significativamente menores em relação aos sanitizantes naturais ($p < 0,001$) e ao controle positivo ($p = 0,001$). Por outro lado, não houve diferença estatística entre os sanitizantes naturais e o controle positivo ($p = 0,274$).

Figura 2 - Comparação da redução microbiana entre diferentes tratamentos e microrganismos, com distribuição percentual por faixas logarítmicas.

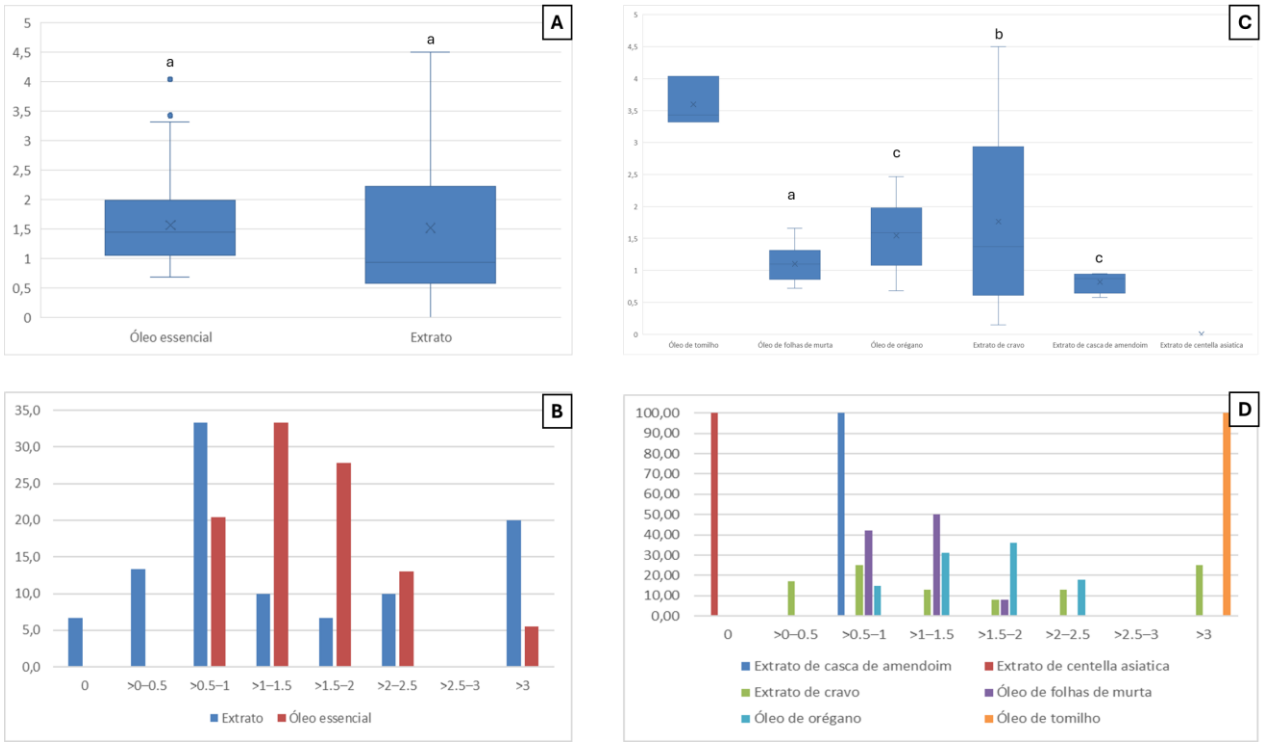


Legenda: (A) Redução logarítmica média (log UFC/g) obtida com diferentes tratamentos: controle negativo (água ou água destilada), controle positivo (cloro ou hipoclorito de sódio) e sanitizantes naturais. Letras distintas indicam diferença estatística significativa entre os grupos (teste de Kruskal-Wallis, $H = 24,41$; $p < 0,001$; seguido de teste de Dunn com correção de Bonferroni; $p< 0,05$); (B) Distribuição percentual das reduções microbianas por faixas logarítmicas, considerando os três grupos experimentais (controle negativo, controle positivo e sanitizantes naturais) ;(C) Redução logarítmica média (log UFC/g) para *E. coli* O157:H7 e *Salmonella*spp. Letras iguais indicam ausência de diferença significativa (teste de Mann-Whitney, $p > 0,05$); (D) Distribuição percentual das reduções microbianas por faixas logarítmicas, considerando os dois microrganismos-alvo (*E. coli* O157:H7 e *Salmonella* spp.).
Fonte: Silveira J, et al., 2025.

O gráfico de frequência relativa (**Figura 2B**), que apresenta a distribuição percentual das reduções microbianas por faixa logarítmica, indica que os sanitizantes naturais resultaram predominantemente em reduções entre >0,5 e 1,5 log UFC/g, correspondendo a 50% das observações. A frequência de reduções superiores a 3 log, que é recomendado como ideal para controle microbiológico, foi observada em aproximadamente 10% dos casos. No grupo de controle positivo, 66,7% das amostras apresentaram reduções entre >1,5 e 2,0 log UFC/g, enquanto 16,7% atingiram reduções superiores a 3 log UFC/g. Já o controle negativo apresentou reduções <1 log UFC/g em 88,2% das amostras, com 11,8% demonstrando ausência de redução microbiana (valor nulo).

Na análise da eficácia dos sanitizantes naturais frente a *E. coli* O157:H7 e *Salmonella* spp. foi verificado uma redução média de 1,60 log UFC/g e 1,53 log UFC/g respectivamente (**Figura 2C**). No entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os dois grupos (p = 0,2827). No entanto, com base na distribuição da frequência relativa das reduções logarítmicas em diferentes faixas para *E. coli*O157:H7 e *Salmonella* (**Figura 3B**), observou-se que, para *E. coli*O157:H7, as reduções mais frequentes ocorreram nas faixas de >0,5–1,0 log UFC/g (28,6%) e >3,0 log UFC/g (28,6%). Para *Salmonella* spp. as faixas com maior frequência de ocorrência foram entre >1,0–1,5 log UFC/g (29,2%) e >1,5–2,0 log UFC/g (26,2%). Quando comparada a eficácia dos sanitizantes formulados com óleos essenciais (n= 54) e a dos extratos vegetais (n= 30), observou-se médias de redução de 1,56 log UFC/g e 1,52 log UFC/g, respectivamente (**Figura 3D**). Contudo, essa diferença não foi estatisticamente significativa (p = 0,1033).

Figura 3 - Comparação da redução microbiana entre classes de sanitizantes (óleos essenciais e extratos vegetais) e entre sanitizantes individuais, com distribuição percentual por faixas logarítmicas.



Legenda: (A) Redução logarítmica média (log UFC/g) obtida para extrato e óleo essencial. As letras distintas indicam diferença estatística significativa entre os grupos (teste de Mann-Whitney, *p*< 0,05). **(B)** Distribuição percentual das reduções microbianas por faixas logarítmicas, considerando os dois grupos experimentais (para extrato e óleo essencial); **(C)** Redução logarítmica média (log UFC/g) obtida para os diferentes sanitizantes naturais. As letras distintas indicam diferença estatística significativa entre os grupos (teste de Kruskal-Wallis, *p*< 0,05; seguido por teste de Dunn com correção de Bonferroni;). **(D)** Distribuição percentual das reduções microbianas por faixas logarítmicas, considerando seis grupos experimentais (extrato de casca de amendoim, extrato de cravo, óleo de orégano, extrato de centella asiática, óleo de folhas de murta e óleo de tomilho.
Fonte: Silveira J, et al., 2025.

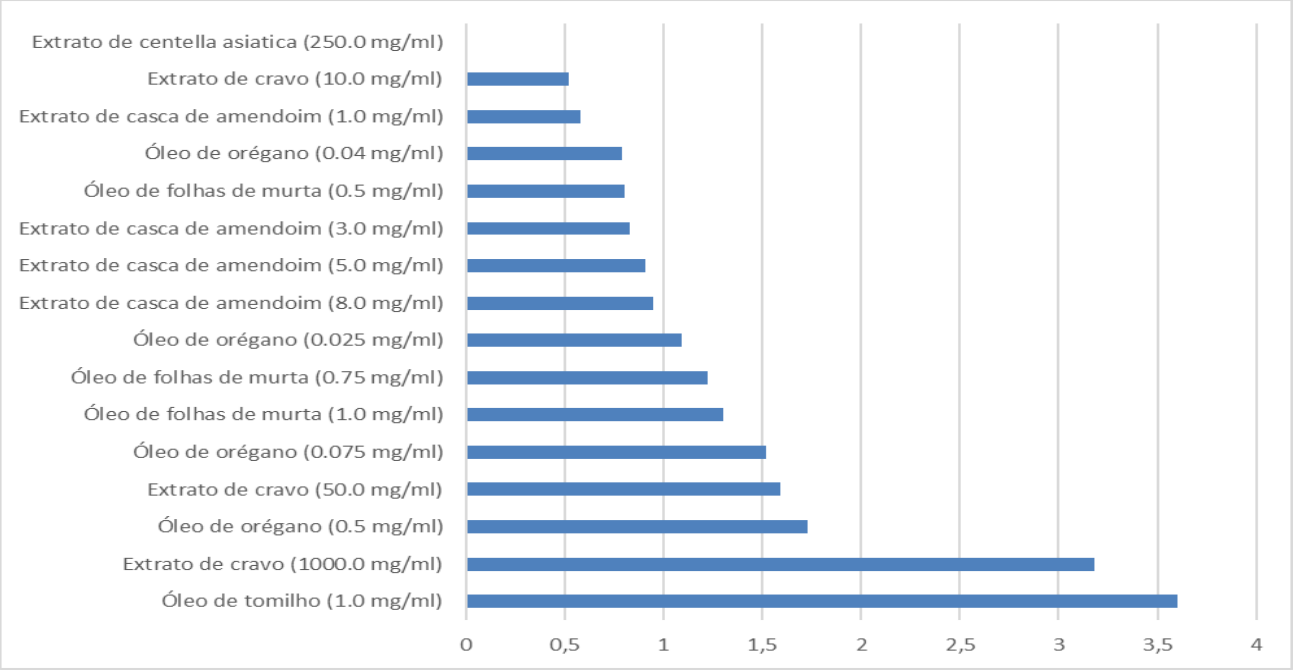
Em adição, a análise da frequência relativa mostrou que os sanitizantes à base de óleo apresentaram maior proporção de reduções nas faixas de >1,0–1,5 log UFC/g (33,3%) e >1,5–2,0 log UFC/g (27,8%) (**Figura 3B**). Por outro lado, os extratos concentraram-se nas faixas de 0,5–1,0 log UFC/g (33,3%) e >3,0 log UFC/g (20,0%). Desse modo, os resultados sugerem que os óleos naturais podem apresentar uma tendência à maior eficácia antimicrobiana em comparação aos extratos. Na avaliação individual da eficácia dos sanitizantes naturais (**Figura 3C**) foi observado que o óleo de tomilho (n=3) promoveu reduções

significativamente maiores em comparação à maioria dos demais compostos testados, incluindo o extrato de centella asiática (p = 0,004; n = 2), o extrato de cravo (p = 0,002; n=24) e o óleo de orégano (p = 0,000). Além disso, o extrato de cravo apresentou diferença significativa quando comparado ao óleo de orégano (p = 0,000; n = 39).

Entretanto, na análise da frequência relativa das reduções logarítmicas dos microrganismos (**Figura 3D**), nota-se padrões distintos entre os diferentes sanitizantes naturais. Considerando o conjunto de microrganismos avaliados, o óleo de tomilho concentrou a maior proporção de reduções superiores a 3 log UFC/g (100%, n=3). Já o extrato de cravo, o óleo de orégano e o óleo de murta apresentaram distribuições relevantes nas faixas superiores (>2 a 3 log). Por outro lado, os sanitizantes como o extrato de casca de amendoim e a centella asiática demonstraram maior frequência de reduções em faixas inferiores, com destaque para valores abaixo de 1 log.

Por fim, considerando os sanitizantes naturais em diferentes concentrações, a análise estatística revelou diferenças significativas na eficácia dos sanitizantes naturais (H= 24,41 *p*< 0,001) (**Figura 4**). O óleo de tomilho a 1,0 mg/mL apresentou a maior redução microbiana, sendo significativamente superior a todas as outras formulações. O óleo de orégano a 0,5 mg/mL e o extrato de cravo a 1000 mg/mL mostraram eficácia semelhante entre si, mas superior à do extrato de centella asiática e ao extrato de casca de amendoim, que não diferiram entre si e apresentaram as menores reduções.

Figura 4 - Eficácia de sanitizantes naturais em diferentes concentrações na redução microbiana (log UFC/g).



Legenda: Redução microbiana média (log UFC/g) obtida com diferentes sanitizantes naturais aplicados em folhas de alface, considerando a concentração utilizada em cada experimento.
Fonte: Silveira J, et al., 2025.

Além disso, foram conduzidas análises de correlação de Spearman para investigar associações entre variáveis experimentais contínuas e a redução microbiana alcançada com o uso dos sanitizantes naturais. As variáveis avaliadas incluíram: concentração do sanitizante natural (ppm), tempo do tratamento (min), tempo de secagem do vegetal após inoculação para fixação dos microrganismos (h), área da superfície vegetal (m²), quantidade de amostra utilizada e proporção hortaliça/sanitizante. De modo geral, nenhuma dessas variáveis apresentou correlação estatisticamente significativa com a redução microbiana, sugerindo que tais fatores, isoladamente, não são determinantes relevantes para a eficácia dos sanitizantes naturais.

DISCUSSÃO

Salmonella spp. e *E. coli* O157:H7 podem contaminar hortaliças folhosas em todas as etapas, desde o cultivo até o armazenamento pós-colheita (OWADÉ JO, et al., 2024). A *Salmonella* spp. causa gastroenterites com febre, mialgia, cefaleia, náusea e vômito, podendo evoluir para septicemia em pacientes imunocomprometidos, e responde por cerca de 22,5 % dos surtos alimentares na União Europeia (SILVA BN, et al., 2017; EHUWA O, et al., 2021).

Já *E. coli* O157:H7, produtora de toxina Shiga, associa-se à colite hemorrágica e à síndrome hemolítico-urêmica, com mais de 63 000 infecções e aproximadamente 20 óbitos anuais nos Estados Unidos (CHEN JC, et al., 2023). Em alface, a prevalência média dessas bactérias alcança 4,1 % (IC 95 %: 3,0–5,2 % para *Salmonella* spp.; 0,5–7,8 % para *E. coli* O157:H7), reforçando a necessidade urgente de métodos de higienização eficazes (ELIAS S, et al., 2019).

Nesse contexto, os resultados dessa revisão evidenciam que os sanitizantes naturais podem representar uma alternativa viável ao cloro na descontaminação de alface, uma vez que promoveram reduções de *Salmonella* spp. e*E. coli* O157:H7 estatisticamente equivalentes às obtidas com sanitizantes clorados. Esses achados estão em consonância com estudos que apontam o uso de óleos essenciais e extratos vegetais como alternativas sustentáveis e menos agressivas à saúde humana e ao meio ambiente, especialmente quando comparados a desinfetantes convencionais, como o hipoclorito de sódio, os quais podem gerar subprodutos tóxicos (LIMA MC e SOUZA E, 2021; ZAMAN S, et al., 2024).

Quando comparados os microrganismos de modo individual, os sanitizantes naturais demonstraram eficácia de redução estatisticamente semelhante contra *E. coli* O157:H7 e *Salmonella* spp..A distribuição das faixas logarítmicas, no entanto, mostrou padrões distintos de sensibilidade aos sanitizantes entre as espécies, o que reforça a importância da escolha do sanitizante conforme o patógeno alvo(SILVA LP, et al., 2015).

De forma semelhante, a comparação entre classes de compostos naturais indicou uma tendência de maior eficácia dos óleos essenciais em relação aos extratos vegetais, embora sem diferença estatística. Desse modo, a variação na eficácia de redução microbiana entre os óleos essenciais e os extratos vegetais, bem como entre os sanitizantes avaliados individualmente, pode ser atribuída às diferentes propriedades físico-químicas dos compostos naturais analisados (MARTÍNEZ FJA, et al., 2021).

Os óleos essenciais são misturas complexas de compostos voláteis, principalmente terpenos e fenóis, obtidos por destilação ou arraste a vapor, o que lhes confere alta lipofilicidade e capacidade de atravessar a bicamada lipídica das células bacterianas. Em contato com a membrana, terpenos como carvacrol e timol, ou fenois como o eugenol aumentam a permeabilidade e podem provocar a ruptura completa da barreira lipídica, resultando no vazamento de íons, ATP e outros metabólitos essenciais à homeostase celular (TARIQ S, et al., 2019; MARTÍNEZ FJA, et al., 2021).

Em contraste, os extratos vegetais, geralmente obtidos com solventes polares como água, etanol ou metanol, são ricos em moléculas hidrofílicas (flavonoides, taninos, alcaloides, glicosídeos). Embora também capazes de interagir com a bicamada lipídica e alterar sua fluidez, a menor volatilidade e a distribuição ampla de compostos polares podem limitar a difusão até os alvos intracelulares, reduzindo a eficácia antimicrobiana em comparação aos óleos essenciais (VIDAKOVIĆ V, et al., 2024; ŽAGAR T, et al., 2024).

Entretanto, vale ressaltar que o uso combinado de compostos presentes em óleos essenciais com os de extratos vegetais pode potencializar a atividade antimicrobiana, oferecendo alternativas mais sustentáveis ao cloro e a outros sanitizantes químicos (MARTÍNEZ FJA, et al., 2021).

Nesta revisão, não foram encontradas correlações significativas entre as variáveis experimentais, como a concentração do sanitizante e tempo de tratamento. Do mesmo modo, outros estudos também não identificaram relação consistente entre essas variáveis e a diminuição de microrganismos (SINGH N, et al., 2002; GÜNDÜZ GT, et al., 2009; LIMA MC e DE SOUZA E, 2021).

Em uma revisão sobre a ação de óleos essenciais e de seus constituintes isolados, Lima MC e Souza E (2020) não observaram correlação significativa entre a concentração aplicada e a redução microbiana. Esse achado corrobora a ideia de que o êxito do tratamento depende sobretudo do tipo de sanitizante utilizado

(extrato vegetal ou óleo essencial), da composição química e das interações sinérgicas entre os compostos presentes, mais do que da dose empregada. Diferentes estudos indicam que o aumento do tempo de exposição ao sanitizante, dentro de determinados intervalos, não necessariamente resulta em maior eficácia microbiológica (GÜNDÜZ GT, et al., 2009; SINGH N, et al., 2002). No caso da *S. Typhimurium*, tratamentos com óleo de murta aplicados em folhas de alface por 5, 10, 15 e 20 minutos não apresentaram variações estatisticamente significativas entre si ($p > 0,05$) (GÜNDÜZ GT, et al., 2009).

De forma semelhante, a inativação de *E. coli* O157:H7 inoculada em alface também não apresentou diferenças significativas quando tratada com óleo essencial de tomilho (1,0 mL/L) pelos tempos de 5, 10 ou 15 minutos (SINGH N, et al., 2002). Esses achados sugerem que, para determinados compostos naturais, o tempo de contato além de um certo limite pode não ser o principal fator determinante da eficácia antimicrobiana (SINGH N, et al., 2002). Apesar de os estudos incluídos nesta revisão não terem comparado proporções distintas entre massa de alface e volume de sanitizante (g:mL), e a análise conjunta dos dados não indicar influência direta dessas variáveis sobre a eficácia dos tratamentos, a relação 1:20 mostrou-se a mais adequada, pois garante imersão completa das folhas e contato uniforme com o agente sanitizante (SSEMANDA JN, et al., 2018).

Lesões mecânicas, como cortes ocorridas na colheita ou no processamento, aumentam o risco de contaminação da alface por *Salmonella* e *E. coli* O157:H7 (KOUKKIDIS G, et al., 2017; MULAOSMANOVIC E, et al., 2020). A ruptura dos tecidos libera exsudatos ricos em açúcares e aminoácidos que servem de substrato para ambos os patógenos, estimulando a multiplicação bacteriana e a formação de biofilmes (KOUKKIDIS G, et al., 2017; ARELLANO A, et al., 2022). Consequentemente, folhas danificadas apresentam cargas microbianas maiores do que folhas intactas (MULAOSMANOVIC E, et al., 2021; ELPERS C, et al., 2023). O uso de folhas em cortes padronizados, procedimento adotado em todos os ensaios incluídos nesta revisão, visa simular produtos minimamente processados e garantir homogeneidade experimental. Todavia, essa abordagem pode não representar fielmente a eficácia dos sanitizantes em folhas inteiras e dificultar a comparação direta entre estudos (PEREIRA R, et al., 2018; JENSEN DA, et al., 2015).

Embora não tenha sido observada correlação significativa entre tempo de fixação e redução microbiana, esse parâmetro parece ser essencial para avaliar a eficácia dos sanitizantes em vegetais minimamente processados. Para simular uma possível contaminação ocorrida no campo, recomenda-se que a secagem das folhas inoculadas seja realizada por 2 h a 22 °C, condição que reproduz as temperaturas elevadas às quais os vegetais ficam expostos antes da colheita. Para retratar de maneira mais fiel os cenários de contaminação pós-colheita, sugerem-se períodos de fixação de até 2 h. Entretanto, deve-se ressaltar que tempos mais prolongados de fixação podem comprometer a qualidade dos produtos frescos, resultando em perda de peso e alterações na aparência das hortaliças (GÜNDÜZ GT, 2012).

Além do tempo de secagem, a qualidade visual das folhas de alface também pode ser comprometida pelos próprios sanitizantes. Dos sete estudos desta revisão, apenas quatro avaliaram as folhas após aplicação exclusiva de sanitizantes naturais, e apenas um realizou análise de cor. Gündüz GT, et al. (2009) observaram que imersões em óleo de murta a 0,50–0,70 mg/mL por até 20 min mantiveram cor e crocância das folhas. No entanto, ao elevar a concentração para 1 mg/mL durante 15–20 min, apareceram descoloração e perda de firmeza. De forma semelhante, Kim S, et al. (2011) notaram alterações visuais de cor em amostras tratadas com extrato de cravo, embora os valores L*, a* e b* não tenham diferido significativamente do controle lavado com água destilada. Aprofundando a discussão sobre os efeitos dos sanitizantes naturais nos atributos sensoriais de vegetais folhosos, Joshi K, et al. (2016) observaram que o impacto depende tanto do composto quanto da hortaliça. Enquanto a maioria dos óleos essenciais gerou pungência ou odor residual, os extratos vegetais acentuaram o escurecimento das folhas. As misturas de óleo e extrato receberam as piores notas, apontando para a necessidade de refinamento dessas formulações. Portanto, o uso industrial de sanitizantes naturais deve conciliar ação antimicrobiana e manutenção das características sensoriais. Nesse sentido, o encapsulamento em micro ou nano emulsões se apresenta como solução promissora, pois atenua o odore possibilita a liberação controlada do princípio ativo (FERNANDES AP, et al., 2024).

CONCLUSÃO

Esta revisão evidencia que os sanitizantes naturais são uma alternativa promissora para a descontaminação de hortaliças folhosas. Contudo, sua eficácia ainda não iguala, de forma consistente, a do cloro, com reduções majoritariamente inferiores a 3 log UFC/g. A implementação de protocolos padronizados é crucial para produzir resultados comparáveis e confiáveis, permitindo avaliar com precisão a aplicabilidade desses produtos. Além disso, investigações futuras devem abordar a estabilidade química dos compostos, sua toxicidade e o impacto sensorial nos alimentos, de modo a assegurar segurança, eficácia e aceitação em larga escala.

REFERÊNCIAS

1. ALLENDE A, et al. Role of commercial sanitizers and washing systems on epiphytic microorganisms and sensory quality of fresh-cut escarole and lettuce. Postharvest Biology and Technology. 2008;49(1):155-163.
2. BHATIA R, et al. Microbial risks associated with ready-to-eat fresh produce (RTEFP): A focus on temperate climatic conditions. Food Control. 2024;155:114041.
3. CHEN JC, et al. Reoccurring Escherichia coli O157:H7 strain linked to leafy greens–associated outbreaks, 2016–2019. Emerging Infectious Diseases. 2023;29(9):1895.
4. EHUWA O, et al. Salmonella, food safety and food handling practices. Foods. 2021;10(5):907.
5. ELIAS S, et al. Salmonella spp. and Escherichia coli O157:H7 prevalence and levels on lettuce: A systematic review and meta-analysis. Food Microbiology. 2019;84:103217.
6. ELPERS L, et al. Factors required for adhesion of Salmonella enterica serovar Typhimurium to Lactuca sativa (lettuce). Microbiology Spectrum. 2023;11(1):e03436-22.
7. FAN X, SOKORAI KJ. Formation of trichloromethane in chlorinated water and fresh-cut produce and as a result of reaction with citric acid. Postharvest Biology and Technology. 2015;109:65-72.
8. FERNANDES AP, et al. Encapsulation of essential oils in nanoemulsions: Balancing antimicrobial effect and sensory acceptability. Journal of Food Engineering. 2024;315:111232.
9. GÜNDÜZ GT, et al. Antimicrobial activity of oregano oil on iceberg lettuce with different attachment conditions. Journal of Food Science. 2012;77(7):M412-M415.
10. GÜNDÜZ GT, et al. Efficacy of myrtle oil against Salmonella Typhimurium on fresh produce. International Journal of Food Microbiology. 2009;130(2):147-150.
11. GÜNDÜZ GT, et al. Efficacy of oregano oil in the inactivation of Salmonella Typhimurium on lettuce. Food Control. 2010;21(4):513-517.
12. JENSEN DA, et al. Cross-contamination of Escherichia coli O157:H7 between lettuce and wash water during home-scale washing. Food Microbiology. 2015;46:428–433.
13. JOSHI K, et al. Novel disinfectants for fresh produce. Food Control. 2013;34(1):100–111.
14. KANG J, SONG KB. Antimicrobial activity of honeybush (Cyclopia intermedia) ethanol extract against foodborne pathogens and its application in washing fresh cut Swiss chard. Food Control. 2021;121:107674.
15. KIM SY, et al. Antimicrobial activity of plant extracts against Salmonella Typhimurium, Escherichia coli O157:H7, and Listeria monocytogenes on fresh lettuce. Food Control. 2011.
16. KOUKKIDIS G, et al. Salad leaf juices enhance Salmonella growth, colonization of fresh produce, and virulence. Applied and Environmental Microbiology. 2017;83(1):e02416-16.
17. LEE CH, et al. Inactivation of Listeria monocytogenes and Escherichia coli O157:H7 inoculated on fresh-cut romaine lettuce by peanut skin extract/benzethonium chloride emulsion washing. Food Control. 2021;119:107479.
18. LIMA CM, SOUZA E. A systematic quantitative analysis of the published literature on the efficacy of essential oils as sanitizers in fresh leafy vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021;61(14):2326-2339.
19. LOAN HNB, et al. 3-Chlorotyrosine formation in ready-to-eat vegetables due to hypochlorite treatment and its dietary exposure and risk assessment. Food Research International. 2016;90:186–197.
20. LOZANO IM, et al. Nutritional value of commercial and traditional lettuce (Lactuca sativa L.) and wild relatives: Vitamin C and anthocyanin content. Food Chemistry. 2021;359:129864.
21. MARTÍNEZ FJA, et al. Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action. Phytomedicine. 2021;90:153626.
22. MULAOSMANOVIC E, et al. Size matters: Biological and food safety relevance of leaf damage for colonization of Escherichia coli O157:H7 gfp+. Frontiers in Microbiology. 2021;11:608086.

23. OWADE JO, et al. A review of conditions influencing fate of Shiga toxin-producing Escherichia coli O157:H7 in leafy greens. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2024;23(5):e70013.
24. PEREIRA R, et al. Decontamination of minimally-processed fresh lettuce using reuterin produced by Lactobacillus reuteri. Frontiers in Microbiology. 2018;9:1421.
25. QIN YM, et al. Deep learning for sustainable agriculture: A systematic review on applications in lettuce cultivation. Sustainability. 2025;17(7):3190.
26. SILVA BN, et al. Meta-analysis of the incidence of foodborne pathogens in vegetables and fruits from retail establishments in Europe. Current Opinion in Food Science. 2017;18:70–77.
27. SILVA LP, et al. Meta analysis of the effects of sanitizing treatments on Salmonella, Escherichia coli O157:H7, and Listeria monocytogenes inactivation in fresh produce. Applied and Environmental Microbiology. 2015;81:8008–8021.
28. SINGH N, et al. Effect of inoculation and washing methods on the efficacy of different sanitizers against Escherichia coli O157:H7 on lettuce. Food Microbiology. 2002;19(2-3):183-193.
29. SSEMANDA JN, et al. Reduction of microbial counts during kitchen-scale washing and sanitization of salad vegetables. Food Control. 2018;85:495–503.
30. TARIQ S, et al. A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. Microbial Pathogenesis. 2019;134:103580.
31. THOMAS GA, et al. From field to plate: How do bacterial enteric pathogens interact with ready-to-eat fruit and vegetables, causing disease outbreaks? Food Microbiology. 2024;117:104389.
32. VIDAKOVIĆ V, et al. Qualitative profiling, antioxidant and antimicrobial activities of polar and nonpolar basil extracts. Foods. 2024;13(18):2993.
33. WHO. Healthy diet. World Health Organization. 2020. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet. Acessado em: 11 de fevereiro de 2025.
34. YU K, et al. Effect of chitosan coatings with cinnamon essential oil on postharvest quality of mangoes. Foods. 2021;10(12):3003.
35. ŽAGAR T, et al. Using subcritical water to obtain polyphenol-rich extracts with antimicrobial properties. Antibiotics. 2024;13(4):334.
36. ZAMAN S, et al. Use of non-chlorine sanitizers in improving quality and safety of marketed fresh salad vegetables. Processes. 2024;12(5):1011.
37. ZAMUZ S, et al. The role of phenolic compounds against Listeria monocytogenes in food: A review. Trends in Food Science & Technology. 2021;110:385-392.