



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS

ELLEN ABREU DA CRUZ

**EFICIÊNCIA DA INATIVAÇÃO FOTODINÂMICA NA REDUÇÃO DE
Escherichia coli EM MICROVERDES DE RÚCULA (*Eruca sativa L.*)**

PETROLINA – PE

2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS

ELLEN ABREU DA CRUZ

**EFICIÊNCIA DA INATIVAÇÃO FOTODINÂMICA NA REDUÇÃO DE
Escherichia coli EM MICROVERDES DE RÚCULA (*Eruca sativa L.*)**

Monografia apresentada ao curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas, oferecido pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista.

**Orientadora
Profa. Dra. Jane Oliveira Perez**

PETROLINA – PE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C955 Cruz, Ellen Abreu da.

Eficiência da inativação fotodinâmica na redução de Escherichia coli em microverdes de rúcula (*Eruca sativa L.*) / Ellen Abreu da Cruz. - Petrolina, 2025.
25 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2025.
Orientação: Prof^a. Dr^a. Jane Oliveira Perez.

1. Pós-colheita. 2. Bioativos. 3. Segurança alimentar. 4. Descontaminação microbiológica. 5. Fotossensibilizador. I. Título.

CDD 631.56



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS

A monografia “Eficiência da Inativação Fotodinâmica na Redução de *Escherichia coli* em Microverdes de Rúcula (*Eruca sativa L.*)”, autoria de **Ellen Abreu da Cruz**, foi submetida à Banca Examinadora, constituída pelo IFSertãoPE, como requisito parcial necessário à obtenção do Título de Especialista em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas, outorgado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – IFSertãoPE.

Aprovado em 24 de novembro de 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
gov.br JANE OLIVEIRA PEREZ
Data: 24/11/2025 17:01:26-0300
Verifique em <https://validar.itii.gov.br>

Prof. Dra. Jane Oliveira Perez – IFSertãoPE
(Presidente – Orientador/a)

Documento assinado digitalmente
gov.br RANNIELE LUIZA VENTURA DA SILVA
Data: 24/11/2025 21:59:58-0300
Verifique em <https://validar.itii.gov.br>

Prof. Ma. Ranniele Luíza Ventura da Silva – UFAL
(1^a Examinadora)

Documento assinado digitalmente
gov.br ANA CAROLINA DIAS BRAGA
Data: 24/11/2025 20:38:23-0300
Verifique em <https://validar.itii.gov.br>

Prof. Dr(a). Ana Carolina Dias Braga – IFSertãoPE
(2^a Examinadora)

Documento assinado digitalmente
gov.br JESSICA DE SOUZA LIMA
Data: 24/11/2025 20:14:00-0300
Verifique em <https://validar.itii.gov.br>

Prof. Dr(a). Jessica de Souza Lima – IFSertãoPE
(3^a Examinadora)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1 Descrição do local	9
2.2 Obtenção preparo do microrganismo teste.....	9
2.3 Produção dos microverdes	10
2.4 Testes de eficiência da terapia fotodinâmica mediada por curcumina associada à luz LED azul.....	11
2.5 Análise microbiológica	12
2.6 Análises estatísticas.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4 CONCLUSÕES	17
REFERÊNCIAS.....	19

RESUMO

Os microverdes, incluindo a rúcula (*Eruca sativa* L.), são alimentos funcionais ricos em compostos bioativos, contudo, sua produção pode ser vulnerável à contaminação por patógenos como *Escherichia coli*. Este estudo avaliou a eficácia da terapia fotodinâmica (TFD) mediada por curcumina associada à luz LED azul na inativação de *E. coli* inoculada em microverdes de rúcula cultivados em condições controladas. A cepa *E. coli* ATCC 25922 foi aplicada nos microverdes, seguidos de tratamentos com luz LED azul e/ou curcumina. As contagens bacterianas foram analisadas por métodos microbiológicos com diluições seriadas e método de gotas. Os resultados indicaram que a TFD promoveu reduções numéricas na população bacteriana, especialmente nos tratamentos com tempos mais longos de exposição (15 e 25 minutos), porém, essas reduções não foram estatisticamente significativas. Limitações como baixa penetração da luz LED azul, distribuição irregular do fotossensibilizador e barreiras físicas da cutícula foliar podem ter influenciado a eficácia. A nanoencapsulação da curcumina e ajustes nos parâmetros de tratamento são indicados como caminhos para otimizar a eficiência antimicrobiana da TFD. Apesar da ausência de significância estatística, o estudo reforça o potencial da terapia fotodinâmica como alternativa sustentável e segura para descontaminação pós-colheita de microverdes, sem comprometimento das características sensoriais e nutricionais.

Palavras-chave: Bioativos. Segurança alimentar. Descontaminação microbiológica. Fotossensibilizador. Pós-colheita.

ABSTRACT

Microgreens, including arugula (*Eruca sativa* L.), are functional foods rich in bioactive compounds but vulnerable to contamination by pathogens such as *Escherichia coli*. This study evaluated the efficacy of photodynamic therapy (PDT) mediated by curcumin combined with blue LED light for inactivating *E. coli* inoculated on arugula microgreens grown under controlled conditions. *E. coli* ATCC 25922 was applied to the microgreens, followed by treatments with blue LED light and/or curcumin. Bacterial counts were analyzed using serial dilutions and drop plate methods. Results indicated numerical reductions in bacterial populations, particularly at longer exposure times (15 and 25 minutes), although these reductions were not statistically significant. Limitations such as limited blue light penetration, uneven photosensitizer distribution, and physical barriers of the leaf cuticle may have affected efficacy. Curcumin nanoencapsulation and parameter optimization are suggested to enhance antimicrobial efficiency. Despite the lack of statistical significance, this study highlights the potential of photodynamic therapy as a sustainable and safe alternative for postharvest decontamination of microgreens without compromising sensory and nutritional qualities.

Key words: Bioactive compounds. Food safety. Microbiological decontamination. Photosensitizer. Post-harvest.

1 INTRODUÇÃO

Os microverdes, como a rúcula (*Eruca sativa*), têm se destacado como alimentos funcionais devido ao seu alto valor nutricional, rápido ciclo de produção e apelo sensorial, sendo valorizados por consumidores que buscam opções saudáveis e sustentáveis. Esses vegetais concentram compostos bioativos, carotenoides, polifenóis e vitaminas, o que reforça seu potencial funcional (PRAMANA et al., 2024; YANG et al., 2020).

Os microverdes são considerados alimentos mais seguros em relação aos brotos, uma vez que, esses diferem entre si em uma série de etapas operacionais. Os microverdes passam por um breve período de embebição das sementes (distribuição ideal de água para umedecer as sementes e permitir a germinação), são geralmente cultivados em substrato e são consumidos, após o corte, sem o sistema radicular (TURNER; LUO; BUCHANAN, 2020; ZHANG et al., 2020), enquanto que, os brotos são consumidos com as raízes (GALIENI et al., 2020).

Escherichia coli é uma bactéria Gram-negativa pertencente à família *Enterobacteriaceae*, amplamente distribuída no ambiente e comumente associada ao trato gastrointestinal de humanos e animais de sangue quente (BARUA et al., 2025). Embora muitas cepas sejam comensais, determinadas variantes patogênicas apresentam elevada relevância clínica e epidemiológica, sendo responsáveis por gastroenterites, infecções sistêmicas e surtos alimentares de grande impacto (SAITO et al., 2025; ALHADLAQ et al., 2024). A bactéria apresenta rápido crescimento, elevada capacidade de adaptação e resistência a diferentes condições ambientais, o que favorece sua sobrevivência em alimentos frescos e minimamente processados. Além disso, *E. coli* é amplamente utilizada como microrganismo indicador de contaminação fecal e de falhas nas práticas higiênico-sanitárias, tornando-se um importante alvo em estudos de tecnologias pós-colheita voltadas à segurança microbiológica de vegetais, incluindo microverdes consumidos in natura (DEBLAIS et al., 2025; PIZZO et al., 2023).

Casos de surtos alimentares associados a *Escherichia coli* já foram relatados em brotos e microverdes, destacando o risco potencial para a saúde pública e a necessidade de tecnologias pós-colheita que garantam a segurança microbiológica sem comprometer a qualidade sensorial e nutricional (IŞIK;

ÇETIN; TOPALCENGİZ, 2024; MARSHALL et al., 2020; ELIAS; NORONHA; TONDO, 2019). Entre os episódios mais relevantes, destacam-se o surto ocorrido na Alemanha em 2011, causado pela cepa *E. coli*O104:H4, que resultou em mais de 3.800 casos e 54 óbitos, associado ao consumo de brotos crus de feno-grego (BUCHHOLZ et al., 2011; FRANK et al., 2011; LUBER, 2014). No mesmo ano, um evento semelhante foi registrado na França, também relacionado a brotos da mesma espécie (KING et al., 2012; LUBER, 2014). Outros surtos significativos ocorreram nos Estados Unidos, afetando milhares de pessoas e resultando em quadros graves (KINTZ et al., 2019; CHEN et al., 2023; CARSTENS; SALAZAR; DARKOH, 2019). Esses episódios evidenciam a gravidade clínica e o alcance internacional das contaminações, agravados pela dificuldade de rastreamento da origem do patógeno, já que a contaminação frequentemente se inicia nas sementes antes do plantio (MARSHALL et al., 2020; ELIAS; NORONHA; TONDO, 2019).

No contexto brasileiro, embora surtos alimentares associados especificamente a *E. coli* em brotos e microverdes sejam raramente documentados, a presença do patógeno em vegetais frescos e minimamente processados já foi amplamente relatada. Dados epidemiológicos indicam que, entre 2008 e 2014, *E. coli* esteve envolvida em parte dos surtos de doenças transmitidas por alimentos relacionados ao consumo de saladas e vegetais crus, evidenciando o risco potencial desses produtos quando consumidos in natura (ELIAS; DECOL; TONDO, 2018). Além disso, estudos nacionais demonstram prevalência variável da bactéria em hortaliças minimamente processadas, reforçando a necessidade de protocolos eficazes de segurança microbiológica e de tecnologias pós-colheita aplicáveis à realidade brasileira (CASTRO et al., 20219; FINGER et al., 2023).

Visando reduzir ou impedir a ocorrência dessas contaminações, o uso de sanitizantes convencionais, como cloro e hipoclorito de sódio, apresenta limitações importantes, incluindo a formação de subprodutos tóxicos, eficácia variável e impactos ambientais negativos. Esses fatores têm impulsionado a busca por alternativas inovadoras e seguras, como a Terapia Fotodinâmica (TFD), para garantir a qualidade microbiológica dos alimentos frescos sem comprometer suas características sensoriais e nutricionais (PRAMANA et al., 2024).

A TFD é uma tecnologia não térmica promissora que utiliza um fotossensibilizador (FS), luz visível em comprimento de onda específico e oxigênio molecular para gerar espécies reativas de oxigênio (ROS), capazes de danificar membranas, proteínas e DNA de microrganismos, levando à sua inativação. Diferentemente dos sanitizantes químicos, a TFD não deixa resíduos tóxicos e pode ser aplicada diretamente sobre superfícies vegetais (LUKSIENE; BROVKO, 2013; YU et al., 2022; PRAMANA et al., 2024; YANG et al., 2020).

Diversos estudos relatam sua aplicação em diferentes produtos vegetais, incluindo folhas e hortaliças como alface, espinafre, couve, rúcula e agrião (ZHU et al., 2021; OLIVEIRA; TIKEKAR; NITIN, 2018; YAN et al., 2021; GLUECK et al., 2017; RODONI; LEMOINE, 2023); brotos e sementes de feijão-mungo, rabanete e feno-grego (FELLNER et al., 2024; GLUECK et al., 2017); além de frutas e legumes como morango, tomate, uva e batata (ZHU et al., 2021; LARREA et al., 2023). Em geral, o tratamento resulta em reduções microbianas expressivas, de 3 a 7 log, frente a patógenos como *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. e *Staphylococcus aureus*, preservando características sensoriais e nutricionais e, em alguns casos, aumentando a atividade antioxidante e a vida útil dos produtos. O uso de fotossensibilizadores naturais, como curcumina, riboflavina, clorofilina e porfirinas, mostra-se especialmente promissor por aliar segurança, eficiência e baixo custo (FELLNER et al., 2024; FELLNER et al., 2023; GLUECK et al., 2017; ZHU et al., 2021; RODONI; LEMOINE, 2023; LARREA et al., 2023; OLIVEIRA; TIKEKAR; NITIN, 2018; YAN et al., 2021).

A curcumina, pigmento natural extraído da *Curcuma longa* L., destaca-se como fotossensibilizador devido à sua eficácia na geração de ROS sob luz visível. A forma hidrossolúvel do sal de curcumina apresenta maior biodisponibilidade, facilitando sua aplicação em alimentos. Estudos demonstram que a TFD mediada por curcumina é eficaz na redução de bactérias, fungos e biofilmes, contribuindo para a segurança e preservação de alimentos frescos sem comprometer sua qualidade (MIRZAHOSEINIPOUR et al., 2020; SHARMA et al., 2023). A eficácia depende da concentração de curcumina, tipo e intensidade da luz, disponibilidade de oxigênio e tempo de exposição (PRAMANA et al., 2024; YANG et al., 2020).

A luz LED azul tem papel central nesse processo, pois ativa a curcumina e potencializa a geração de ROS, levando à inativação microbiana. (BHAVYA; HEBBAR, 2019; YUAN et al., 2022; AGUILERA et al., 2025). Operando na faixa de 440–470 nm, correspondente ao pico de absorção da curcumina, a luz LED azul apresenta alta eficiência antimicrobiana, baixo consumo energético e segurança para aplicação em alimentos, pois não emite radiação ultravioleta nem causa aquecimento significativo (BHAVYA et al., 2021; BHAVYA; HEBBAR, 2019; YUAN et al., 2022). Estudos demonstram que a combinação de curcumina e LED azul é capaz de reduzir em mais de 5 log as populações de *E. coli* e outros patógenos em vegetais e microverdes, sem alterar suas propriedades sensoriais, evidenciando o potencial dessa tecnologia como alternativa sustentável para descontaminação pós-colheita (HYUN; MOON; LEE, 2022; AGUILERA et al., 2025; YUAN et al., 2022).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da terapia fotodinâmica com curcumina associada à luz LED azul na redução da população de *E. coli* inoculada em microverdes de rúcula cultivados em condições controladas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do local

Os experimentos foram realizados em uma câmara de crescimento adaptada, com monitoramento da temperatura e umidade relativa, situada em uma sala fechada dentro do laboratório de Microbiologia do Instituto Federal de Alagoas (IFAL) – Campus Piranhas.

2.2 Obtenção e preparo do microrganismo teste

Foi utilizada a cepa padrão *E. coli* ATCC 25922, mantida a -20 °C em TSB (Trypticase Soy Broth) suplementado com solução de glicerol 20% (v/v). Antes dos ensaios, a cepa foi reativada em TSB e incubada a 36 °C por 18h em duas transferências consecutivas.

Para a padronização da suspensão, as células foram cultivadas em TSA (Trypticase Soy Agar) (Figura 1) e incubadas a 36 °C por 24 h. De uma a dez colônias foram transferidas para solução salina estéril a 0,85% (m/v) até atingir

turbidez correspondente a 6–7 log UFC/mL, verificada por absorbância a 600 nm (espectrofotômetro Nova NI 2000). A quantificação foi confirmada pelo plaqueamento em gotas (20 µL) em TSA, incubação a 36 °C/24 h, expressando os resultados em log UFC/mL.

Figura 1 - Células de *E. coli* cultivadas em TSA



Fonte: Autora (2025).

Após a quantificação das amostras, foi utilizado como fotossensibilizador o sal de curcumina (PM = 730,32 g/mol), solúvel em água, obtido da PDT Pharma (Cravinhos – SP), na concentração final de 50 µg/mL.

2.3 Produção dos microverdes

Sementes de rúcula (*Eruca sativa* L.) foram inicialmente descontaminadas, realizando-se a sanitização com NaClO (10 g/L, 5 min), enxaguadas em água destilada estéril e secas a 35 °C por 2 h. Em seguida foram semeadas 2 g de semente de rúcula em recipientes de plástico de 0,2 L (9 cm x 9 cm x 4,5 cm) contendo substrato estéril (Tropstrato®), o que representou uma repetição. As bandejas, com as sementes sem cobertura, foram colocadas para germinar no escuro por 2 dias (Figura 2). Os recipientes foram dispostos aleatoriamente e sistematicamente girados todos os dias para melhorar a uniformidade da exposição à luz por mais 6 dias, sob ambiente controlado (25 °C, umidade 50–60%) com rega diária com água destilada estéril.

Figura 2 - Germinação dos microverdes de rúcula após 2 dias no escuro



Fonte: Autora (2025).

2.4 Testes de eficiência da terapia fotodinâmica mediada por curcumina associada à luz LED azul.

A eficiência da TFD mediada por curcumina foi avaliada em microverdes de rúcula (*Eruca sativa*) inoculados com *E. coli* ATCC 25922. A suspensão bacteriana foi previamente ajustada para uma concentração aproximada de 6–7 log UFC·mL⁻¹ e aplicada por borrifação sobre os microverdes após oito dias de cultivo (Figura 3). A suspensão permaneceu em contato com as plântulas por 30 minutos, permitindo a adesão bacteriana antes da aplicação dos tratamentos.

Figura 3 - Borrifação de suspenção de *E. coli* nos microverdes de rúcula



Fonte: Autora (2025).

Os tratamentos foram definidos como:

S (Controle): microverdes inoculados apenas com a suspensão bacteriana, sem aplicação de luz nem curcumina;

L (Luz LED azul): exposição dos microverdes à luz LED azul (20 W; 450 \pm 10 nm) por 5 (L5), 15 (L15) e 25 (L25) minutos;

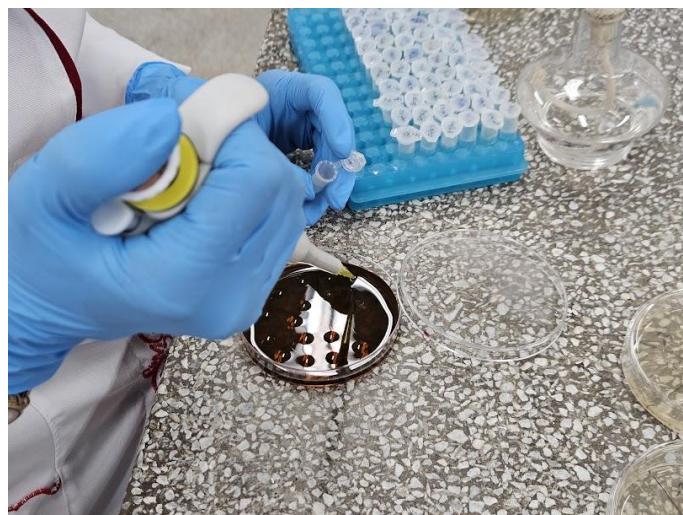
C (TFD): aplicação da solução fotossensibilizadora de curcumina ($50 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$), com tempo de contato de 30 minutos, seguida da exposição à luz LED azul por 5 (C5), 15 (C15) e 25 (C25) minutos.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos e três repetições, sendo cada repetição representada por uma bandeja de cultivo. Após a aplicação dos tratamentos, três plântulas de cada bandeja foram coletadas e transferidas para tubos de ensaio contendo 9 mL de água destilada estéril. Os tubos foram agitados por 1 minuto em agitador tipo vortex, e uma alíquota de 0,1 mL foi utilizada para a realização das diluições seriadas e análises microbiológicas, visando à quantificação das unidades formadoras de colônia (UFC). As análises foram realizadas em triplicata para assegurar a reproduzibilidade e a confiabilidade dos resultados.

2.5 Análise microbiológica

Para a análise microbiológica dos tratamentos e a quantificação bacteriana, foram realizadas diluições seriadas decimais (10^{-1} a 10^{-6}), preparadas em água destilada estéril com 0,15% de ágar bacteriológico, com o objetivo de manter a viabilidade microbiana e evitar aderência às paredes dos tubos. O plaqueamento foi realizado pelo método de gotas (Figura 4), utilizando 20 μL de cada diluição, aplicados sobre a superfície de placas de Petri com o meio de cultura EMB (Eosin Methylene Blue): seletivo e diferencial para identificação de colônias de *E. coli* (com coloração metálica característica).

Figura 4 - Plaqueamento em gotas em meio EMB



Fonte: Autora (2025).

As placas foram incubadas a 35 °C por 12 horas em estufa microbiológica. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônias por mililitro (UFC/mL) e posteriormente convertidos para \log_{10} UFC/mL para análise estatística.

2.6 Análises estatísticas

Os dados de contagem bacteriana foram transformados em \log_{10} UFC·mL⁻¹ e expressos como média ± desvio-padrão (DP). A normalidade e a homogeneidade das variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro–Wilk e Levene. Como os dados não atenderam aos pressupostos paramétricos ($p < 0,05$), aplicaram-se testes não paramétricos.

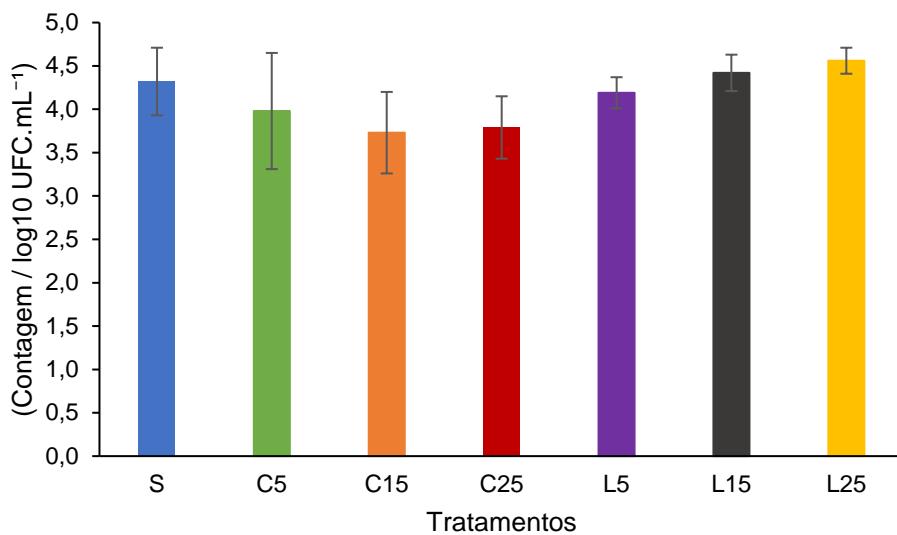
As diferenças entre os tratamentos (S, C5, C15, C25, L5, L15 e L25) foram avaliadas pelo teste de Kruskal–Wallis (H). Quando observada significância global ($p < 0,05$), realizou-se o teste de Mann–Whitney (U) como pós-teste, com correção de Bonferroni para comparações múltiplas.

As análises foram realizadas no software Python (versão 3.11), utilizando as bibliotecas Pandas, NumPy e SciPy, considerando significância de $p < 0,05$. Os resultados foram apresentados em forma de tabelas, com médias e desvios-padrão ilustrando a dispersão dos dados experimentais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias e desvios-padrão das contagens de *E. coli* (\log_{10} UFC·mL $^{-1}$) nos diferentes tratamentos são apresentados no gráfico (Figura 5).

Figura 5 - Médias e desvios-padrão das contagens de *E. coli* (\log_{10} UFC·mL $^{-1}$) em microverdes de rúcula submetidos a diferentes tratamentos de terapia fotodinâmica e luz LED azul



Fonte: Autora (2025).

O teste de Kruskal–Wallis revelou diferença estatisticamente significativa entre os grupos avaliados ($H = 13,52$; $p = 0,036$), indicando variação global nas contagens bacterianas. Entretanto, o pós-teste de Mann–Whitney com correção de Bonferroni não identificou diferenças significativas entre o grupo controle e os demais tratamentos ($p > 0,05$), impossibilitando a atribuição dessa variação a um tratamento específico. Ainda assim, reduções numéricas foram observadas nos tratamentos submetidos à terapia fotodinâmica, especialmente em C15 e C25.

Em termos numéricos, observa-se que os microverdes submetidos à terapia fotodinâmica (C5, C15 e C25) apresentaram menores médias de contagem bacteriana em comparação ao controle S e aos grupos expostos apenas à luz (L5, L15 e L25). Essa redução, embora não significativa estatisticamente, sugere um efeito antimicrobiano potencial da curcumina associada à luz LED azul, sobretudo nos tempos de 15 e 25 minutos. Resultados

similares foram relatados por Bhavya e Hebbar (2019) e Aguilera et al. (2025), que observaram reduções bacterianas superiores a 3 log em *E. coli* com tempos de exposição a luz LED azul e concentrações otimizadas do fotossensibilizador.

A ausência de significância estatística pode ser atribuída à baixa penetração da luz LED azul nos tecidos vegetais, limitando a geração de ROS e, consequentemente, a eficácia da terapia fotodinâmica. A distribuição irregular da curcumina sobre a superfície foliar, associada à perda de fotossensibilizador por escorrimento durante a aplicação, também pode ter reduzido a eficiência do processo fotodinâmico. Além disso, a quantidade de oxigênio disponível na superfície foliar e a espessura da cutícula podem atuar como barreiras físicas que reduzem o contato entre a luz e o FS (YUAN et al., 2022; YANG et al., 2020). Aguilera et al. (2025) também ressaltam que a eficiência da TFD pode ser aumentada com o uso de nanopartículas de curcumina, que favorecem maior contato com a superfície bacteriana e melhor geração de ROS sob luz LED azul. Segundo Pramana et al. (2024), a eficácia da TFD depende criticamente da proximidade entre o fotossensibilizador e o microrganismo, uma vez que as ROS possuem tempo de vida extremamente curto e baixo poder de difusão.

A barreira física representada pela cutícula vegetal, rica em ceras e compostos hidrofóbicos, constitui outro fator limitante à penetração da luz e ao contato direto com as células bacterianas aderidas à superfície. Moreno et al. (2022) destacam que a cutícula exerce função protetora contra a penetração de radiação, o que reduz a quantidade de fótons que atingem a curcumina adsorvida sobre o tecido vegetal. Assim, mesmo que a curcumina tenha sido fotoativada, a produção de ROS pode ter ocorrido predominantemente na superfície externa, sem atingir as bactérias situadas em microfissuras ou sob a epiderme foliar.

Estudos prévios corroboram esses achados. Bhavya e Hebbar (2019) e Zhu et al. (2021) relataram que a TFD apresenta desempenho variável conforme o tipo de tecido vegetal, intensidade luminosa e concentração de fotossensibilizador, sendo possível alcançar reduções superiores a 5 log em condições otimizadas (PRAMANA et al. 2024). Muniz et al. (2024) reforçam que protocolos com concentrações mais elevadas de curcumina e maior fluência luminosa promovem inibição significativa do crescimento de *E. coli* in vitro. Além disso, Aguilera et al. (2025) demonstraram que a combinação de curcumina

nanoencapsulada e luz LED azul resulta em atividade fotobactericida superior a 3 log de redução em *E. coli*.

De modo geral, os resultados indicam que, embora a TFD com curcumina e luz LED azul tenha promovido reduções numéricas na população de *E. coli* em microverdes de rúcula, as condições experimentais utilizadas não foram suficientes para promover inativação significativa. Ajustes nos parâmetros de intensidade luminosa, tempo de exposição e formulação do fotossensibilizador, como o uso de nanopartículas, podem potencializar a eficiência da técnica em futuras aplicações pós-colheita (MUNIZ et al., 2024; AGUILERA et al., 2025; MORENO et al., 2022).

Estudos recentes sugerem que a modificação físico-química da curcumina pode contornar parte dessas limitações. Aguilera et al. (2025) demonstraram que a nanoencapsulação da curcumina em nanopartículas de quitosana aumenta sua solubilidade e estabilidade, favorecendo o contato com a superfície bacteriana e a geração de ROS sob luz LED azul, o que resulta em atividade fotobactericida significativamente superior à da curcumina livre. Muniz et al. (2024) também observaram que o uso de nanocurcumina associada a maiores intensidades luminosas (20–30 W) resulta em inibição superior a 4 log de *E. coli* em biofilmes alimentares, evidenciando o potencial da nanoformulação para superar barreiras físico-químicas e otimizar a eficácia da TFD.

Do ponto de vista tecnológico, a aplicação da TFD em microverdes representa uma estratégia promissora para o controle microbiológico pós-colheita, uma vez que não utiliza reagentes químicos e não deixa resíduos tóxicos. Além disso, a luz LED azul apresenta baixo consumo energético, elevada durabilidade e ausência de emissão de radiação ultravioleta, sendo uma alternativa sustentável e segura para o setor hortícola (YUAN et al., 2022; BHAVYA et al., 2021).

A implementação dessa tecnologia em escala comercial, contudo, requer ajustes de parâmetros experimentais, como a uniformidade da iluminação, a distância entre o emissor e o produto, a intensidade luminosa (fluência), a concentração do fotossensibilizador e o tempo de exposição, de modo a otimizar o rendimento microbiológico sem comprometer as características sensoriais e nutricionais dos microverdes. Estudos recentes destacam que a eficácia da terapia fotodinâmica depende criticamente da padronização e otimização desses

parâmetros, pois variações podem impactar tanto a eficiência antimicrobiana quanto a qualidade do produto final (RUAN et al., 2024; PRAMANA et al. 2024; PIKSA et al., 2023; COMEAU; MANSO, 2023).

Adicionalmente, deve-se considerar que o efeito antimicrobiano da luz LED azul isolada observado nos grupos L5, L15 e L25, embora discreto, sugere que a radiação na faixa de 450 ± 10 nm pode, por si só, induzir algum grau de estresse oxidativo em células bacterianas. Diversos estudos recentes confirmam que a luz LED azul, mesmo sem fotossensibilizadores exógenos, pode exercer efeito antimicrobiano discreto sobre *E. coli* e outras bactérias. Esse efeito é atribuído à excitação de cromóforos endógenos, como porfirinas e flavinas, presentes no interior das células bacterianas, levando à geração de ROS e consequente estresse oxidativo (HINTMANN et al., 2024; MINOR; SABILLÓN, 2023; HADI et al., 2021; CHEN; CHENG; MORARU, 2023)

De modo geral, os resultados obtidos neste trabalho indicam que, embora a TFD mediada por curcumina e luz LED azul tenha promovido reduções numéricas nas contagens de *E. coli* em microverdes de rúcula, as condições experimentais empregadas não foram suficientes para alcançar uma inativação significativa. No entanto, o comportamento observado confirma a tendência de redução microbiana associada à presença de curcumina, reforçando a viabilidade dessa abordagem como tecnologia emergente para descontaminação pós-colheita de vegetais.

Assim, recomenda-se que estudos futuros avaliem novas formulações de curcumina, diferentes comprimentos de onda e intensidades de luz LED, bem como a interação entre o tipo de superfície vegetal e a eficiência fotodinâmica, visando ampliar o potencial antimicrobiano da técnica e sua aplicabilidade em sistemas de produção comercial de microverdes.

4 CONCLUSÕES

A terapia fotodinâmica com curcumina e luz LED azul aplicadas em microverdes de rúcula inoculados com *E. coli* promoveu reduções numéricas na população bacteriana, especialmente em maiores tempos de exposição, embora não tenha alcançado significância estatística nas condições experimentais deste estudo. As limitações relativas à penetração da luz, distribuição do fotossensibilizador e barreiras físicas da cutícula foram fatores que

possivelmente restringiram a eficiência da técnica. A nanoencapsulação da curcumina e o ajuste dos parâmetros de aplicação como intensidade luminosa e tempo de exposição são recomendados para potencializar a ação antimicrobiana da TFD. Em vista do baixo impacto sensorial e nutricional, a TFD representa uma alternativa promissora para a descontaminação microbiológica pós-colheita de microverdes, particularmente em sistemas de produção comercial. Pesquisas futuras devem focar em superar as barreiras físico-químicas identificadas para expandir a aplicabilidade e eficiência da técnica.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, L. F.; ARAUJO, L. O.; FACCHINATTO, W. M.; LIMA, R. G.; PONTES, M. S.; PULCHERIO, J. H. V.; CAIRES, C. S. A.; OLIVEIRA, K. T.; OLIVEIRA, S. L.; CAIRES, A. R. L. Blue-Light Photoactivated Curcumin-Loaded Chitosan Nanoparticles Prepared by Nanoprecipitation and Ionic Gelation: a promising approach for antimicrobial photodynamic inactivation. **Acs Applied Bio Materials**, v. 8, n. 5, p. 4055-4064, 8 maio 2025. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acsabm.5c00200>.
- ALHADLAQ, M. A.; ALJURAYYAD, O. I.; ALMANSOUR, A.; AL-AKEEL, S. I.; ALZAHRANI, K. O.; ALSALMAN, S. A.; YAHYA, R.; AL-HINDI, R. R.; HAKAMI, M. A.; ALSAHRANI, S. D. Overview of pathogenic *Escherichia coli*, with a focus on Shiga toxin-producing serotypes, global outbreaks (1982–2024) and food safety criteria. **Gut Pathogens**, v. 16, n. 1, p. 57, 7 out. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13099-024-00641-9>.
- BARUA, R.; PAVLI, P.; GORDON, D.; O'BRIEN, C. Diversity, distribution, and population structure of *Escherichia coli* in the lower gastrointestinal tract of humans. **Plos One**, v. 20, n. 7, p. 0328147, 10 jul. 2025. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0328147>.
- BHAVYA, M. L.; HEBBAR, H. U. Umesh. Efficacy of blue LED in microbial inactivation: effect of photosensitization and process parameters. **International Journal of Food Microbiology**, v. 290, p. 296-304, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.10.021>.
- BHAVYA, M. L.; SHEWALE, S. R.; RAJORIYA, D.; HEBBAR, H. U. Impact of Blue LED Illumination and Natural Photosensitizer on Bacterial Pathogens, Enzyme Activity and Quality Attributes of Fresh-Cut Pineapple Slices. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, n. 2, p. 362-372, 20 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-021-02581-7>.
- BUCHHOLZ, U.; BERNARD, H.; WERBER, D.; BÖHMER, M. M.; REMSCHMIDT, C.; WILKING, H.; DELERÉ, Y.; HEIDEN, M. A.; ADLHOCH, C.; DREESMAN, J. German Outbreak of *Escherichia coli*O104: h4 associated with sprouts. **New England Journal of Medicine**, v. 365, n. 19, p. 1763-1770, 10 nov. 2011. Massachusetts Medical Society. <http://dx.doi.org/10.1056/nejmoa1106482>.
- CARSTENS, C. K.; SALAZAR, J. K.; DARKOH, C. Multistate Outbreaks of Foodborne Illness in the United States Associated With Fresh Produce From 2010 to 2017. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, p. 1-15, 22 nov. 2019. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2019.02667>.
- CASTRO, V. S.; FIGUEIREDO, E. E. S.; STANFORD, K.; MCALLISTER, T.; CONTE-JUNIOR, C. A. Shiga-toxin producing *Escherichia coli* in Brazil: a systematic review. **Microorganisms**, v. 7, n. 5, p. 137, 16 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms7050137>.
- CHEN, H.; CHENG, Y.; MORARU, C. I. Blue 405 nm LED light effectively

- inactivates bacterial pathogens on substrates and packaging materials used in food processing. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 15472, 19 set. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-023-42347-z>.
- CHEN, J. C.; PATEL, K.; SMITH, P. A.; VIDYAPRAKASH, E.; SNYDER, C.; TAGG, K. A.; WEBB, H. E.; SCHROEDER, M. N.; KATZ, L. S.; ROWE, L. A. Reoccurring *Escherichia coli* O157: h7 strain linked to leafy greens::associated outbreaks, 2016-2019. **Emerging Infectious Diseases**, v. 29, n. 9, p. 1895-1899, set. 2023. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). <http://dx.doi.org/10.3201/eid2909.230069>.
- COMEAU, P.; MANSO, A. A. Systematic Evaluation of Curcumin Concentrations and Blue Light Parameters towards Antimicrobial Photodynamic Therapy against Cariogenic Microorganisms. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 12, p. 2707, 30 nov. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics15122707>.
- DEBLAIS, L.; AHMEDO, B. U.; OJEDA, A.; MUMMED, B.; WANG, Y.; MEKONNEN, Y. T.; WELDESENBET, Y. D.; HASSEN, K. A.; BRHANE, M.; MCKUNE, S. Assessing fecal contamination from human and environmental sources using *Escherichia coli* as an indicator in rural eastern Ethiopian households—a cross-sectional study from the EXCAM project. **Frontiers In Public Health**, v. 12, p. 1484808, 6 jan. 2025. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpubh.2024.1484808>.
- ELIAS, S. O.; DECOL, L. T.; TONDO, E. C. Foodborne outbreaks in Brazil associated with fruits and vegetables: 2008 through 2014. **Food Quality And Safety**, v. 2, n. 4, p. 173-181, 26 out. 2018. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/fqsafe/fyy022>.
- ELIAS, S. O.; NORONHA, T. B.; TONDO, E. C. *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* O157: h7 prevalence and levels on lettuce. **Food Microbiology**, v. 84, p. 103217, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2019.05.001>.
- FELLNER, A.; HAMMINGER, C.; FEFER, M.; LIU, J.; PLAETZER, K. Towards Microbial Food Safety of Sprouts: photodynamic decontamination of seeds. **Photonics**, v. 10, n. 3, p. 239, 22 fev. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/photonics10030239>.
- FELLNER, A.; HAMMINGER, C.; JERNEJ, L.; WIMMER, A.; LIU, J.; FEFER, M.; PLAETZER, K. Photodynamic Inactivation of microorganisms for agricultural applications. **Photodiagnosis and Photodynamic Therapy**, v. 46, p. 104156, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pdpdt.2024.104156>.
- FINGER, J. A. F. F.; SANTOS, I. M.; SILVA, G. A.; BERNARDINO, M. C.; PINTO, U. M.; MAFFEI, D. F. Minimally Processed Vegetables in Brazil: an overview of marketing, processing, and microbiological aspects. **Foods**, v. 12, n. 11, p. 2259, 3 jun. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12112259>.
- FRANK, C.; WERBER, D.; CRAMER, J. P.; ASKAR, M.; FABER, M.; HEIDEN, M. A.; BERNARD, H.; FRUTH, A.; PRAGER, R.; SPODE, A. Epidemic Profile of Shiga-Toxin–Producing *Escherichia coli* O104: H4 outbreak in germany. **New**

- England Journal of Medicine**, v. 365, n. 19, p. 1771-1780, 10 nov. 2011. Massachusetts Medical Society. <http://dx.doi.org/10.1056/nejmoa1106483>.
- GALIENI, A.; FALCINELLI, B.; STAGNARI, F.; DATTI, A.; BENINCASA, P. Sprouts and Microverdes: trends, opportunities, and horizons for novel research. **Agronomy**, v. 10, n. 9, p. 1424, 19 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10091424>.
- GLUECK, M.; SCHAMBERGER, B.; ECKL, P.; PLAETZER, K. New horizons in microbiological food safety: photodynamic decontamination based on a curcumin derivative. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 16, n. 12, p. 1784-1791, dez. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1039/c7pp00165g>.
- HADI, J.; WU, S.; SONI, A.; GARDNER, A.; BRIGHTWELL, G. Genetic Factors Affect the Survival and Behaviors of Selected Bacteria during Antimicrobial Blue Light Treatment. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 19, p. 10452, 28 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms221910452>.
- HINTMANN, M.; ZIMBELMANN, S.; EMDE, B.; BIEDENDIECK, R.; JAHN, D. Antibiotic Effect of High-Power Blue Laser Radiation. **Photonics**, v. 11, n. 3, p. 220, 28 fev. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/photonics11030220>.
- HYUN, J.; MOON, S.; LEE, S. Application of blue light-emitting diode in combination with antimicrobials or photosensitizers to inactivate *Escherichia coli* O157: h7 on fresh-cut apples and cherry tomatoes. **Food Control**, v. 131, p. 108453, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108453>.
- IŞIK, S.; ÇETİN, B.; TOPALCENGİZ, Z. Transfer of *Salmonella*, *Escherichia coli* O157: h7 and *listeria* monocytogenes from contaminated soilless substrate and seeds to microgreens. **International Journal of Food Microbiology**, v. 414, p. 110612, abr. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110612>.
- KING, L. A.; NOGAREDA, F.; WEILL, F.-X.; MARIANI-KURKDJIAN, P.; LOUKIADIS, E.; GAULT, G.; JOURDAN-DASILVA, N.; BINGEN, E.; MACE, M.; THEVENOT, D. Outbreak of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* O104: H4 associated with organic fenugreek sprouts, France, June 2011. **Clinical Infectious Diseases**, v. 54, n. 11, p. 1588-1594, 28 mar. 2012. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/cid/cis255>.
- KINTZ, E.; BYRNE, L.; JENKINS, C.; MCCARTHY, N.; VIVANCOS, R.; HUNTER, P. Outbreaks of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* Linked to Sprouted Seeds, Salad, and Leafy Greens: a systematic review. **Journal of Food Protection**, v. 82, n. 11, p. 1950-1958, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-19-014>.
- LARREA, G. A.; GSPOSNER, N. S.; DURANTINI, J. E.; HEREDIA, D. A.; DURANTINI, E. N. Development of New Photoinactivation Strategies for Microbial Decontamination in Fruits and Packaging. **Acs Food Science & Technology**, v. 4, n. 1, p. 207-217, 19 dez. 2023. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acsfoodscitech.3c00474>.

- LUBER, P. The case of the European *Escherichia coli* outbreak from sprouts. **Global Safety of Fresh Produce**, p. 356-366, 2014. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1533/9781782420279.5.356>.
- LUKSIENE, Z.; BROVKO, L. Antibacterial Photosensitization-Based Treatment for Food Safety. **Food Engineering Reviews**, v. 5, n. 4, p. 185-199, 17 ago. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12393-013-9070-7>.
- MARSHALL, K. E.; NGUYEN, T.-A.; ABLAN, M.; NICHOLS, M. C.; ROBYN, M. P.; SUNDARAMAN, P.; WHITLOCK, L.; WISE, M. E.; JHUNG, M. A. Investigations of Possible Multistate Outbreaks of *Salmonella*, Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli*, and *Listeria monocytogenes* Infections — United States, 2016. **Mmwr. Surveillance Summaries**, v. 69, n. 6, p. 1-14, 13 nov. 2020. Centers for Disease Control MMWR Office. <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.ss6906a1>.
- MINOR, M.; SABILLÓN, L. Effectiveness of Ultra-High Irradiance Blue Light-Emitting Diodes in Inactivating *Escherichia coli* O157: H7 on dry stainless steel and cast-iron surfaces. **Foods**, v. 12, n. 16, p. 3072, 16 ago. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12163072>.
- MIRZAHOSEINIPOUR, M.; KHORSANDI, K.; HOSSEINZADEH, R.; GHAZAEIAN, M.; SHAHIDI, F. K. Antimicrobial photodynamic and wound healing activity of curcumin encapsulated in sílica nanoparticles. **Photodiagnosis and Photodynamic Therapy**, v. 29, p. 101639, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pdpdt.2019.101639>.
- MORENO, A. G.; CÓZAR, A.; PRIETO, P.; DOMÍNGUEZ, E.; HEREDIA, A. Radiationless mechanism of UV deactivation by cuticle phenolics in plants. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, p. 1786, 4 abr. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-022-29460-9>.
- MUNIZ, I. P. R.; CALADO, S. P. M.; RIBEIRO, I. S.; GALANTINI, M. P. L.; GONÇALVES, C. V.; ROSA, L. P.; ROSA, F. C. S.; SILVA, R. A. A. Evaluation of different protocols using antimicrobial photodynamic therapy with curcumin and blue led light control of *Escherichia coli* in vitro. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 46, p. 67572, 12 dez. 2024. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascibiolsci.v46i1.67572>.
- OLIVEIRA, E. F.; TIKEKAR, R.; NITIN, N. Combination of aerosolized curcumin and UV-A light for the inactivation of bacteria on fresh produce surfaces. **Food Research International**, v. 114, p. 133-139, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.054>.
- PIKSA, M.; LIAN, C.; SAMUEL, I. C.; PAWLIK, K. J.; SAMUEL, I. D. W.; MATCZYSZYN, K. The role of the light source in antimicrobial photodynamic therapy. **Chemical Society Reviews**, v. 52, n. 5, p. 1697-1722, 2023. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/d0cs01051k>.
- PIZZO, J. S.; PELVINE, R. A.; SILVA, A. L. B. R.; MIKCHA, J. M. G.; VISENTAINER, J. V.; RODRIGUES, C. Use of Essential Oil Emulsions to

Control Escherichia coli O157:H7 in the postharvest washing of lettuce. **Foods**, v. 12, n. 13, p. 2571, 30 jun. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12132571>.

PRAMANA, A.; FIRMANDA, A.; ARNATA, I. W.; SARTIKA, D.; SARI, E. O. Reduction of biofilm and pathogenic microorganisms using curcumin-mediated photodynamic inactivation to prolong food shelf-life. **International Journal of Food Microbiology**, v. 425, p. 110866, dez. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110866>.

RODONI, L.M.; LEMOINE, M.L. Shedding light about the use of photosensitizers and photodynamic treatments during postharvest of fruit and vegetables: current and future state. **Postharvest Biology and Technology**, v. 204, p. 112463, out. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112463>.

RUAN, S.; ZHU, T.; ZUO, C.; PENG, J.; LIU, L.; LAN, W.; PAN, L.; TU, K. Storage Properties and Shelf-Life Prediction of Fresh-Cut Radishes Treated by Photodynamic Technology. **Foods**, v. 13, n. 15, p. 2367, 26 jul. 2024. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods13152367>.

SAITO, E.; OGITA, K.; HARADA, T.; WAKABAYASHI, Y.; YAGI, T.; YAMAGUCHI, T.; OSHIBE, T.; OOKA, T.; KAWAI, T. A foodborne outbreak caused by atypical enteropathogenic *Escherichia coli* O45:H15 in the kinki region of Japan. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 91, n. 6, p. 1-14, 18 jun. 2025. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.00123-25>.

SHARMA, K.; PANDEY, S.; SEKAR, H.; ALAN, T.; GUNDABALA, V. Microfluidics Based Generation of Curcumin Loaded Microfibrous Mat against *Staphylococcus aureus* Biofilm by Photodynamic Therapy. **Acs Applied Bio Materials**, v. 6, n. 3, p. 1092-1104, 13 fev. 2023. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acsabm.2c00971>.

TURNER, E. R.; LUO, Y.; BUCHANAN, R. L. Microverde nutrition, food safety, and shelf life: a review. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 4, p. 870-882, 6 mar. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.15049>.

YAN, Y.; TAN, L.; LI, H.; CHEN, B.; HUANG, J.; ZHAO, Y.; WANG, J.; OU, J. Photodynamic inactivation of planktonic *Staphylococcus aureus* by sodium magnesium chlorophyllin and its effect on the storage quality of lettuce. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 20, n. 6, p. 761-771, 28 maio 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s43630-021-00057-3>.

YANG, Q.; FARHA, A. K.; KIM, G.; GUL, K.; GAN, R.; CORKE, H. Antimicrobial and anticancer applications and related mechanisms of curcumin-mediated photodynamic treatments. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 341-354, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.023>.

YU, X.; ZOU, Y.; ZHANG, Z.; WEI, T.; YE, Z.; YUK, H.-G.; ZHENG, Q. Recent advances in antimicrobial applications of curcumin-mediated photodynamic inactivation in foods. **Food Control**, v. 138, p. 108986, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108986>.

- YUAN, Y.; LIU, Q.; HUANG, Y.; QI, M.; YAN, H.; LI, W.; ZHUANG, H. Antibacterial Efficacy and Mechanisms of Curcumin-Based Photodynamic Treatment against *Staphylococcus aureus* and Its Application in Juices. **Molecules**, v. 27, n. 20, p. 7136, 21 out. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules27207136>.
- ZHANG, X.; BIAN, Z.; YUAN, X.; CHEN, X; LU, C. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microverdes. **Trends in Food Science & Technology**, v. 99, p. 203-216, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.031>.
- ZHU, S.; SONG, Y.; PEI, J.; XUE, F.; CUI, X.; XIONG, X.; LI, C. The application of photodynamic inactivation to microorganisms in food. **Food Chemistry**: X, v. 12, p. 100150, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100150>.