

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

PEPPE ALEXANDRE DE SOUZA

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA INATIVAÇÃO DE STAPHYLOCOCCUS
AUREUS EM LÂMINAS DE LARINGOSCÓPIO EMPREGANDO SE
ULTRASSOM, DETERGENTE ENZIMÁTICO E ÁGUA OZONIZADA COM
AÇÃO DINÂMICA.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU

São José dos Campos, agosto/ 2026

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

PEPPE ALEXANDRE DE SOUZA

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA INATIVAÇÃO DE STAPHYLOCOCCUS
AUREUS EM LÂMINAS DE LARINGOSCÓPIO EMPREGANDO SE
ULTRASSOM, DETERGENTE ENZIMÁTICO E ÁGUA OZONIZADA COM
AÇÃO DINÂMICA.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia Biomédica – Mestrado, da
Universidade Anhembi Morumbi, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica

Orientador: Prof. Dr. Carlos José de Lima
Co-orientadora: Profa. Dra. Adriana Barrinha Fernandes Moretti

São José dos Campos, agosto/ 2026

PEPPE ALEXANDRE DE SOUZA

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA INATIVAÇÃO DE STAPHYLOCOCCUS
AUREUS EM LÂMINAS DE LARINGOSCÓPIO EMPREGANDO SE
ULTRASSOM, DETERGENTE ENZIMÁTICO E ÁGUA OZONIZADA COM
AÇÃO DINÂMICA.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia Biomédica – Mestrado, da
Universidade Anhembi Morumbi, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica.

Prof. Dr. Carlos José de Lima (Orientador)

Universidade Anhembi Morumbi

Profa. Dra. Viviane Gadret Bório Conceição (externo)

Universidade Brasil

Profa. Dra. Adriana Barrinha Fernandes Moretti (interno)

Universidade Anhembi Morumbi

Prof. Dr. Renato Amaro Zângaro (coordenação)

Universidade Anhembi Morumbi

Profa. Dra. Luciana Aparecida Campos Baltatu (Suplente interno)

Universidade Anhembi Morumbi

Prof. Dr. Henrique Cunha Carvalho (Suplente externo)

Universidade Anhembi Morumbi

São José dos Campos, agosto/ 2026

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da Universidade, do autor e do orientador.

PEPPE ALEXANDRE DE SOUZA

Fisioterapeuta, habilitado em pesquisa e docência em patologia, pela
Universidade Anhembi Morumbi.

Ficha Bibliográfica elaborada pela biblioteca AMO
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S713a	Souza, Peppe Alexandre de Avaliação experimental da inativação de Staphylococcus Aureus em lâminas de laringoscópio empregando-se ultrassom, detergente enzimático e água ozonizada com ação dinâmica/ Peppe Alexandre de Souza- 2026. 54; 30 cm. Orientador (a): Prof. Dr. Carlos José de Lima Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo - 2026. Bibliografia: f. 49 - 52 1. Engenharia Biomédica 2. Laringoscópio 3. Ultrassom 4. Detergente Enzimático 4. Água Ozonizada 5. Desinfecção. Souza, Peppe Alexandre de Il. Título CDD 577
-------	--

Biblioteca Universidade Anhembi Morumbi

DEDICATÓRIA

À minha esposa Suzy, pelo amor, apoio e compreensão em todos os momentos desta caminhada. Aos meus filhos, Kauã e Kauê, fontes inesgotáveis de amor, inspiração e força, que dão sentido a cada conquista.

A vocês, dedico este trabalho, com toda minha gratidão e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha esposa, Suzy, pelo amor incondicional, pela paciência, compreensão e pelo apoio em todos os momentos desta jornada. Sua força, parceria e incentivo foram essenciais para que eu pudesse seguir em frente e alcançar este objetivo.

Aos meus filhos, Kauã e Kauê, que são minha maior fonte de alegria, amor e inspiração. Vocês dão sentido a cada esforço e conquista, e são a razão maior de eu sempre buscar ser melhor.

Aos meus professores, Prof. Dr. Carlos José de Lima e Profa. Dra. Adriana Barrinha Fernandes Moretti, pela dedicação, excelência na orientação e generosidade ao compartilhar conhecimentos. Seus ensinamentos, incentivo e confiança foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e para meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço ao Prof. Dr. Renato Amaro Zângaro, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, pela dedicação, competência e comprometimento na condução do programa, sempre prezando pela excelência acadêmica e pelo desenvolvimento de seus discentes.

Estendo minha sincera gratidão a todos os professores, pelos valiosos ensinamentos, pela generosidade na transmissão de conhecimentos e pelas ricas experiências compartilhadas, que contribuem de forma significativa para a qualidade e excelência do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica.

RESUMO

Introdução: A higienização de artigos semicríticos de geometria complexa, como as lâminas de laringoscópio, é fundamental para prevenir a contaminação cruzada hospitalar. Contudo, os métodos convencionais de desinfecção apresentam limitações de eficácia, riscos ocupacionais e impactos ambientais. **Objetivo:** Avaliar a eficácia da inativação de *Staphylococcus aureus* em lâminas de laringoscópio contaminadas experimentalmente, utilizando a combinação de ultrassom com detergente enzimático seguida de água ozonizada sob ação dinâmica em sistema hidrodinâmico, comparando ao protocolo padrão ANVISA, além de analisar a estabilidade mecânica dos anéis de vedação "O-rings". **Metodologia:** As lâminas foram contaminadas experimentalmente com *S. aureus* $\sim 10^6$ UFC/mL. No protocolo experimental, as amostras foram submetidas ao ultrassom com detergente enzimático a 0,2% por 30 minutos, enxaguadas e tratadas em um circuito hidrodinâmico fechado com água ozonizada com concentração do gerador de 57,2 mg/L, vazão de O_2 de 0,25 L/min com injetor Venturi, gerando uma dose aplicada de $\sim 15,7$ g O_3 /kg por 90 minutos. A recuperação microbiológica foi quantificada em UFC/mL. A estabilidade mecânica dos O-rings foi mensurada via durômetro Shore A após seis ciclos de reprocessamento. **Resultados:** O protocolo padrão promoveu uma redução de 3 logs (99,9%) da carga microbiana, enquanto o protocolo experimental alcançou ausência de crescimento bacteriano, resultando em 4 logs de redução (99,99%). Na avaliação mecânica, observou-se uma redução na dureza dos O-rings de 73,3 Shore A controle para 62,3 Shore A após os seis ciclos, indicando degradação estrutural do elastômero. **Discussão:** A atuação ultrassônica aliada à ação enzimática desorganizou a matriz do biofilme removendo a maior parte do material orgânico, enquanto a elevada taxa de transferência de massa da água ozonizada via injetor Venturi promoveu estresse oxidativo na membrana celular bacteriana. A queda na dureza Shore A evidencia a necessidade de substituição preventiva periódica dos O-rings para evitar falhas de vedação. **Conclusão:** A associação de ultrassom, detergente enzimático e água ozonizada dinâmica é altamente eficiente na inativação de *S. aureus* em lâminas de laringoscópio, superando o protocolo padrão e apresentando-se como uma alternativa automatizada, segura e sustentável para a biossegurança hospitalar.

Palavras-chave: Engenharia Biomédica. Laringoscópio. Ultrassom. detergente enzimático, água ozonizada. Desinfecção.

ABSTRACT

Introduction: Cleaning and disinfecting semi-critical items with complex geometries, such as laryngoscope blades, is crucial for preventing healthcare-associated cross-contamination. However, conventional disinfection methods have limitations regarding efficacy, occupational risks, and environmental impact. **Objective:** To evaluate the efficacy of *Staphylococcus aureus* inactivation on experimentally contaminated laryngoscope blades using a combination of ultrasound with enzymatic detergent followed by ozonated water under dynamic action in a hydrodynamic system, comparing the results to the standard ANVISA protocol, and to analyze the mechanical stability of the O-rings. **Methodology:** The blades were experimentally contaminated with *S. aureus* ($\sim 10^6$ CFU/mL). In the experimental protocol, samples were subjected to ultrasound with 0.2% enzymatic detergent for 30 minutes, rinsed, and treated in a closed hydrodynamic circuit with ozonated water (generator concentration: 57.2 mg/L; O₂ flow rate: 0.25 L/min via Venturi injector), resulting in an applied dose of ~ 15.7 g O₃/kg over 90 minutes. Microbiological recovery was quantified in CFU/mL. O-ring mechanical stability was measured using a Shore A durometer after six reprocessing cycles. **Results:** The standard protocol achieved a 3-log reduction (99.9%) in microbial load, whereas the experimental protocol resulted in no bacterial growth, corresponding to a 4-log reduction (99.99%). Mechanical evaluation showed a decrease in O-ring hardness from 73.3 Shore A (control) to 62.3 Shore A after the six cycles, indicating structural degradation of the elastomer. **Discussion:** Ultrasonic cavitation combined with enzymatic action disrupted the biofilm matrix, while the high mass transfer rate of ozonated water delivered via a Venturi injector induced oxidative stress in the bacterial cell membrane. The decrease in Shore A hardness highlights the need for periodic preventive replacement of O-rings to prevent sealing failures. **Conclusion:** The combination of ultrasound, enzymatic detergent, and dynamic ozonated water is highly efficient at inactivating *S. aureus* on laryngoscope blades, outperforming the standard protocol and offering an automated, safe, and sustainable alternative for hospital biosafety.

Keywords: Biomedical Engineering. Laryngoscope. Ultrasound. Enzymatic detergent. Ozonated water. Disinfection.

LISTA DE ABREVIACÕES

ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CCIH: Comissões de Controle de Infecção Hospitalar

CLSI: *Clinical and Laboratory Standards Institute*

CAL: Caloria

DAN: Desinfecção de Alto Nível

EROs: Espécies Reativas de Oxigênio

IOT: Intubação Orotraqueal

LOG: Logaritmo

NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez (*Nephelometric Turbidity Unit*)

ORP: Potencial de Oxirredução (*Oxidation-Reduction Potential*)

O₃: Ozônio

OMS: Organização Mundial da Saúde

PPM: Partes por Milhão

PVDF: Fluoreto de Polivinilideno

POP: Procedimento Operacional Padrão

RDC: Resolução da Diretoria Colegiada

UFC: Unidades Formadoras de Colônias

UTI: Unidade de Terapia Intensiva

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICATIVA	16
4. HIPÓTESE	17
5. REVISÃO DE LITERATURA	17
5.1. Laringoscópio	17
5.2 Ozônio	20
5.3 Potencial de Ação do Ozônio	22
5.4 O Método do Difusor de Bolhas Para a Ozonização da Água	24
5.5 Sistema Venturi Para a Ozonização da Água.....	24
5.6 <i>Staphylococcus aureus</i>	25
Caracterização e Importância Médica do <i>Staphylococcus aureus</i>	25
5.6.1 Morfologia e Classificação.....	25
5.7 Detergente Enzimático	26
5.8 ULTRASSOM	27
5.9 Ação microbicida do Ultrassom e remoção de biofilme	28
5.9.1 Durômetro	29
6. MATERIAL E MÉTODOS	31
6.1 Tipo de Estudo.....	31
6.2 Local de Execução do Estudo	31
6.3 Sistema Hidrodinâmico.	31
6.5 Inoculação experimental das amostras.....	32
6.6 Suspensão Bacteriana	33
6.7 Análise Qualitativa em meio de cultura	33
7. Protocolo Padrão baseado em Procedimento Operacional.....	34
7.2 Desinfecção de Nível Intermediário.....	35
7.3 Armazenamento e Funcionalidade	35
7.4 Protocolo experimental de inativação de <i>S. aureus</i> : Uso de ultrassom (detergente enzimático) e um sistema de ozonização hidrodinâmico.....	36
7.4.1 Sistema de higienização com Ultrassom e Detergente Enzimático	36

7.4.2 Desinfecção pelo sistema Hidrodinâmico com Ozônio	36
8. Avaliação da Estabilidade Mecânica dos anéis de vedação “O-rings”	38
9. RESULTADOS	38
9.1 Determinação da Dosagem Aplicada de Ozônio	38
9.2 Avaliação da Inativação de <i>S. aureus</i>	40
10. DISCUSSÃO	44
11. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Ilustração Intubação Orotraqueal	16
Figura 2 Aparato esquemático de montagem do procedimento de desinfecção da lâmina do laringoscópio	35
Figura 3 Eficácia microbicida e redução logarítmica do sistema de ozonização hidrodinâmica e ultrassom	45
Figura 4 Contagem Microbiana, redução progressiva da carga microbiana entre os grupos analisados	46
Figura 5 Queda nos valores de Shore A indica degradação do polímero pela ação combinada do ozônio e da cavitação ultrassônica	47

1. INTRODUÇÃO

A segurança do paciente no ambiente hospitalar é diretamente influenciada pela eficácia dos processos de limpeza e desinfecção de artigos médico-cirúrgicos. Entre os dispositivos de criticidade intermediária, as lâminas de laringoscópio representam um desafio constante para as Comissões de Controle de Infecção Hospitalar (CCIH). Instrumentais essenciais para a visualização da glote e a realização da intubação orotraqueal, as lâminas de laringoscópio possuem geometria e detalhes mecânicos complexos, composta por ranhuras, articulações e, frequentemente, feixes de fibra óptica. Estes detalhes favorecem o acúmulo de secreções orgânicas e microrganismos em áreas de difícil alcance para a sua remoção utilizando a fricção mecânica, o que as torna vetores potenciais para infecções cruzadas (McIVOR et al., 2009).

No contexto brasileiro, as práticas de limpeza e desinfecção são regulamentadas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) por meio da RDC nº 15/2012, que estabelece os requisitos de boas práticas para o processamento de produtos para saúde. A norma determina que os artigos semicríticos devem ser submetidos, no mínimo, à desinfecção de alto nível, processo destinado à eliminação de microrganismos vegetativos, micobactérias, fungos e vírus, podendo ser realizado com agentes químicos apropriados e devidamente validados. Dessa forma, dispositivos como o laringoscópio devem seguir protocolos padronizados de limpeza, desinfecção e controle de qualidade, garantindo segurança ao paciente e reduzindo o risco de infecções relacionadas à assistência à saúde (ANVISA, 2012).

A necessidade de esterilização ou desinfecção de um dispositivo médico é determinada pelo risco de transmissão de infecção relacionado ao seu uso clínico. Instrumentos que penetram tecidos estéreis ou o sistema vascular, classificados como artigos críticos devem obrigatoriamente passar por processos de esterilização. Em contrapartida, dispositivos que entram em contato com membranas mucosas ou com pele não íntegra são considerados semicríticos e requerem desinfecção de alto nível; nesse grupo incluem-se as lâminas de laringoscópio. Já os artigos destinados apenas ao contato com pele íntegra, classificados como não críticos, apresentam menor risco de transmissão de microrganismos e, portanto, necessitam apenas de desinfecção de baixo nível, como ocorre com estetoscópios (RUTALA; WEBER, 2016).

O ozônio (O₃) destaca-se como um oxidante de alto poder (2,07 V), superando significativamente o cloro. Sua eficácia antimicrobiana abrange bactérias, fungos, vírus e protozoários, atuando mesmo em concentrações reduzidas (0,01 ppm). O mecanismo de ação envolve a oxidação de glicoproteínas e glicolípídios da membrana celular, a inativação enzimática via grupos sulfidríla e danos genéticos em bases purinas e pirimidinas (MEGAHED, 2018).

A concentração do ozônio produzido por geradores pode ser quantificada por meio de diferentes unidades de medida, sendo as mais comuns mg/L, µg/mL ou g/m³, dependendo das especificações do fabricante. Em determinados contextos, utiliza-se a unidade de partes por milhão (ppm), estabelecendo-se a relação de equivalência onde 1 ppm de O₃ corresponde a 0,002 µg/ml do gás ozônio (BOCCI, 2011).

Nesse cenário, a associação da água ozonizada com o ultrassom surge como uma alternativa tecnológica promissora, o ozônio incorporado na água atua como um potente agente microbicida de amplo espectro, garantindo uma inativação microbiológica rápida e sustentável em termos da preservação do meio ambiente (BOCCI, 2011; ZANARDI et al., 2016).

O Ultrassom caracteriza-se como uma onda sonora de energia mecânica que se propaga por meio de oscilações de pressão em meios gasosos, líquidos ou sólidos. O ultrassom define-se como uma onda de pressão cíclica que opera em frequências superiores ao limiar de percepção do sistema auditivo humano acima de 20 kHz. Sua geração predominante ocorre por meio do efeito piezoelétrico, no qual cristais especializados convertem corrente elétrica alternada em vibrações mecânicas de alta frequência, constituindo o princípio operacional da maioria dos transdutores modernos (GOGATE, 2007).

O reprocessamento de lâminas de laringoscópio é um fator determinante para a segurança do paciente, uma vez que a minimização da intervenção humana reduz drasticamente a variabilidade e a suscetibilidade a falhas operacionais inerentes aos processos manuais. Ao substituir a limpeza manual por tecnologias mecânica, hidrodinâmicas e ozonização controlada, pode-se atenuar o risco de contaminação cruzada e garante-se que áreas de difícil acesso, como ranhuras e articulações das lâminas, recebam a carga oxidativa necessária para a desinfecção de alto nível (RUTALA, WEBER, 2004).

Este estudo tem como objetivo avaliar a eficácia da inativação de *Staphylococcus aureus* em lâminas de laringoscópios contaminadas

experimentalmente a partir do uso do ultrassom associado ao detergente enzimático seguido de água ozonizada empregando-se um sistema hidrodinâmico. As lâminas de laringoscópios são amplamente utilizadas em procedimentos de via aérea e entram em contato direto com mucosas e secreções, o que os caracteriza como artigos semicríticos e exige processos rigorosos de desinfecção de alto nível para prevenir infecções relacionadas à assistência à saúde (SPAULDING, 1968; ANVISA, 2012). Nesse contexto, novas abordagens tecnológicas vêm sendo investigadas como alternativas ou complementos aos métodos convencionais de processamento, incluindo o uso de agentes oxidantes, como o ozônio, associado a tecnologias físicas, como o ultrassom, que podem potencializar a remoção de matéria orgânica e a inativação microbiana (Rutala & Weber, 2019; Kim et al., 2017). O equipamento hidrodinâmico comprovou elevada eficácia no processo de desinfecção de cabos de bisturi submetidos à contaminação experimental. O diferencial do método reside na ação conjunta do fluxo hídrico contínuo, do efeito vibracional do ultrassom que gera uma desagregação de biofilmes e do alto poder oxidante do ozônio (HEINZELMANN, et al, 2024). A hipótese central fundamenta-se na premissa de que a sinergia entre o poder oxidante e a ação acústica do ultrassom podem oferecer perfis de biossegurança comparável ao protocolo padrão da ANVISA (SILVA et al., 2022). O objetivo foi avaliar se a associação do ultrassom, detergente enzimático e água ozonizada, seria eficiente na inativação de *S. aureus*. Além de avaliar a resistência do elastômero após vários ciclos de processamento.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar se o uso do ultrassom com detergente enzimático seguido de água ozonizada sob condição dinâmica é capaz de inativar eficientemente *S. aureus* de lâminas de laringoscópios contaminados experimentalmente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar quantitativamente a redução da carga microbiana de cepa padrão *Staphylococcus aureus* após os dois métodos de processamento: Protocolo

ANVISA e Protocolo com Ultrassom, Detergente Enzimático e Ozônio em condição dinâmica.

- Comparar a inativação microbiana obtida pela água ozonizada associada ao US e detergente enzimático com o protocolo padrão.

3. JUSTIFICATIVA

A relevância deste estudo fundamenta-se, primordialmente, na necessidade crítica de elevar os padrões de segurança em procedimentos de acesso à via aérea do paciente, uma vez que a contaminação residual e falhas no reprocessamento de componentes de laringoscópios são amplamente documentadas na literatura como potenciais reservatórios de patógenos e fontes de infecção nosocomial (Call et al., 2009). Embora a desinfecção química de alto nível, preconizada pela Resolução RDC nº 15/2012 da ANVISA, seja o padrão atual, sua eficácia é frequentemente limitada pela complexidade estrutural do instrumental, que impede o contato pleno do agente desinfetante com microrganismos protegidos por biofilmes em áreas específicas do laringoscópio de difícil acesso.

Cientificamente, compreendendo a ação ultrassônica com detergente enzimático e a posterior exposição à água ozonizada sob condição dinâmica, uma fronteira tecnológica que promete superar as limitações dos métodos passivos. A atividade microbicida do ozônio em bactérias é desencadeada pela geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), que promovem a peroxidação de ácidos graxos polinsaturados na estrutura da membrana. Esse estresse oxidativo compromete a estabilidade da parede celular e da membrana citoplasmática, afetando também componentes internos. Além disso, o ozônio atua diretamente sobre proteínas da bicamada lipídica, glutatona e peptídeos solúveis, que servem como pontos vulneráveis à oxidação. A eficácia do ultrassom na desintegração de biofilmes estende-se para além do seu potencial antimicrobiano. Esse processo de higienização decorre primariamente do fenômeno vibracional, na sequência ocorre o agrupamento e o subsequente rompimento de microbolhas geram frentes de onda de choque e microfluxos direcionados contra a matéria orgânica. Quando essas forças acústicas incidem perpendicularmente sobre o substrato, a matriz do biofilme é fracionada e mecanicamente desprendida da superfície (VYAS et al., 2019).

Sob o aspecto operacional e ambiental, a pesquisa justifica-se pela busca de alternativas sustentáveis. O uso de desinfetantes químicos convencionais, como o glutaraldeído, impõe riscos ocupacionais aos profissionais de saúde devido à sua toxicidade e exige processos complexos de neutralização e descarte para evitar danos ambientais (ZANARDI et al., 2016). Em contrapartida, a água ozonizada é um agente limpo, cujo único subproduto é o oxigênio, oferecendo um método de processamento potencialmente mais rápido, seguro para o operador e alinhado com as práticas de gestão hospitalar moderna e ecologicamente responsável. Portanto, a realização deste estudo é necessária para fornecer evidências científicas que possam, futuramente, subsidiar a atualização de protocolos de desinfecção, garantindo um cuidado de saúde mais seguro e eficiente para a população.

4. HIPÓTESE

A utilização da água ozonizada sob condição dinâmica, posterior ao ultrassom e detergente enzimático poderá apresentar uma redução logarítmica da carga microbiana superior à obtida pelo protocolo padrão da ANVISA (desinfecção química de alto nível) em lâminas de laringoscópio, devido da ação combinada sequencial com a atuação mecânica do ultrassom e o alto potencial oxidativo do ozônio, reduzindo o tempo de processamento e a formação de biofilmes sem gerar resíduos tóxicos.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1. Laringoscópio

A intubação orotraqueal (IOT) configura-se como uma das intervenções com maior potencial de salvamento de vidas. Sua principal indicação abrange cenários de comprometimento da permeabilidade da via aérea. Todavia, a exemplo de qualquer ato invasivo, a IOT envolve riscos inerentes e a possibilidade de complicações clínicas (JABER, et al, 2006). A abordagem para o estabelecimento de uma via aérea definitiva via intubação endotraqueal abrange as vias orotraqueal e nasotraqueal. A tomada de decisão entre os acessos oral ou nasal é condicionado estritamente às características anatômicas, à urgência do quadro e às necessidades clínicas individuais do paciente (ZHANG, 2025).

A colocação do tubo orotraqueal pode ser realizada por meio da laringoscopia direta conforme Figura 1, técnica que permite a visualização direta da laringe mediante o uso de um laringoscópio rígido para afastar e deslocar as estruturas das vias aéreas superiores, possibilitando a exposição da abertura glótica e a introdução do tubo traqueal (LEVITAN; OCHROCH, 2000). O laringoscópio é constituído, de forma geral, por um cabo contendo a fonte de energia elétrica e uma lâmina utilizada para deslocar a língua e os tecidos das vias aéreas, permitindo a visualização das estruturas laríngeas. A efetividade da intubação está relacionada, entre outros fatores, à experiência e ao treinamento do profissional, uma vez que a proficiência em laringoscopia direta é adquirida progressivamente com a prática e está associada a maiores taxas de sucesso do procedimento (BUIS, et al, 2015).



Figura 1: Representação esquemática da intubação orotraqueal
Fonte: Elaborado pelo autor, com auxílio de inteligência artificial (2026)

O laringoscópio configura-se como um dispositivo essencial para o manejo das vias aéreas, sendo utilizado em intubações traqueais, exames diagnósticos e intervenções cirúrgicas na laringe. Estruturalmente, o aparelho é composto por um cabo (que abriga a fonte de energia elétrica para realizar a iluminação) conectado a uma lâmina, que pode apresentar formato reto ou curvo. Devido à sua composição majoritária em materiais termorresistentes, como aço inoxidável e latão, o conjunto do laringoscópio exige cuidados específicos durante o reprocessamento. Os fabricantes Takaoka®, Moriya® e HB Defense® informam, em seus manuais de instruções, a necessidade de remover as pilhas e, em determinados modelos, as lâmpadas antes do processamento do equipamento (BRUNA et al., 2016).

No âmbito da biossegurança, a lâmina em termos de higienização é categorizada como um artigo semicrítico, uma vez que estabelece contato direto com a mucosa oral durante a laringoscopia. No entanto, a classificação do cabo ainda suscita debates na literatura científica global. Existe uma percepção equivocada de que o cabo seria um item independente e "não crítico" por não tocar diretamente a mucosa. Contudo, essa interpretação ignora o risco de contaminação cruzada durante o manuseio, evidenciando a necessidade de protocolos de desinfecção rigorosos para o conjunto completo (QUARTIM, et al, 2016).

O protocolo de processamento de laringoscópios fundamenta-se no Procedimento Operacional Padrão POP.SI.ENF.85 da Associação Saúde da Família (2024), em conformidade com as diretrizes da APECIH e da RDC ANVISA nº 15/2012. Por se tratar de um artigo semicrítico, o processamento da lâmina exige obrigatoriamente a Desinfecção de Alto Nível (DAN) ou esterilização. Para a execução do processo, utilizam-se EPIs, gaze não estéril e detergente enzimático, cuja escolha justifica-se pela capacidade de degradar matéria orgânica e biofilmes, etapa essencial para assegurar a efetividade do desinfetante de alto nível (APECIH, 2021). O álcool a 70% é restrito à fricção e desinfecção de nível intermediário do cabo do laringoscópio (artigo não crítico) e de superfícies auxiliares.

A técnica inicia-se com a desmontagem completa do conjunto, incluindo a retirada de pilhas e lâmpadas, conforme preconizado pelas normas de segurança do equipamento (ASSOCIAÇÃO SAÚDE DA FAMÍLIA, 2024).

- **Limpeza e Desinfecção do Cabo:** O cabo é submetido à limpeza com gaze umedecida em água e sabão neutro, seguida de secagem e fricção em toda a superfície do utensílio com álcool etílico a 70% por um período de 90 segundos. Esta etapa visa a redução da carga microbiana em superfícies de contato manual (ASSOCIAÇÃO SAÚDE DA FAMÍLIA, 2024).
- **Processamento das Lâminas:** As lâminas são submetidas à limpeza rigorosa em toda a sua extensão com o uso de detergente enzimático, conforme as especificações de tempo e diluição do fabricante. Este processo é fundamental para assegurar a quebra das proteínas e lipídios (APECIH, 2021). Após a ação enzimática, realiza-se o enxágue em água potável corrente para a remoção completa de resíduos químicos e sujidades

remanescentes. A desinfecção final ocorre por meio da fricção com gaze e álcool a 70% por 90 segundos, garantindo a segurança do artigo semicrítico antes do uso (ASSOCIAÇÃO SAÚDE DA FAMÍLIA, 2024; APECIH, 2021).

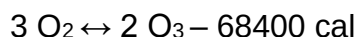
5.2 Ozônio

O ozônio é conhecido como uma substância gasosa natural presente na atmosfera terrestre (estratosfera), sua geração é realizada através da interação da radiação ultravioleta curta (UVC) ($\lambda=255$ nm), proveniente do sol com as moléculas de oxigênio, produzindo assim moléculas tri-atômicas de oxigênio. Esta estrutura naturalmente se caracteriza por ser instável com a ocorrência da dissociação de 1 íon O^{-2} , resultando na formação da molécula O_2 , esta partícula radical ionizante irá fazer a ligação com a substância mais próxima, podendo até ser outra molécula de oxigênio associada com a incidência da luz (BOCCI, 2011).

A descoberta do ozônio remonta a 1840, creditada a Christian Friedrich Schönbein (1799-1868). Durante experimentos com uma pilha voltaica na presença de oxigênio, Schönbein observou que o arco elétrico gerado produzia um gás de odor pungente e característico, o qual ele identificou como uma forma "superativa" de oxigênio. O nome "ozônio" deriva do termo grego *ozein*, que significa "cheiro". Anos depois, em 1857, o alemão Werner von Siemens desenvolveu o primeiro gerador de ozônio, utilizando um tubo de superindução, Tubo de Siemens, composto por dois eletrodos espaçados submetidos a uma alta tensão elétrica, neste espaço entre os dois terminais, escoa-se gás oxigênio em que na saída parte é convertido em ozônio (BOCCI, 2011).

No setor industrial, o ozônio tem sido investigado desde 1949 como alternativa ao cloro no branqueamento de polpa de celulose. Contudo, sua aplicação comercial em larga escala consolidou-se apenas após 1992, impulsionada por regulamentações ambientais mais rígidas contra a descarga de compostos halogenados em efluentes. Tecnicamente, a geração por descarga corona evoluiu significativamente; se na década de 1970 a produção era limitada a 1-2% de ozônio a partir do ar, o uso de oxigênio de alta pureza e o avanço nos dielétricos de menor diâmetro elevaram esses índices e a eficiência energética, permitindo concentrações na faixa de 14% a 16% e reduzindo drasticamente os custos operacionais (TRIPATHI, et al, 2020).

Em termos físicos sob condições normais de temperatura e pressão (CNT), o ozônio (O₃) é uma molécula triatômica de coloração azul-claro e odor acre. Sua síntese a partir do oxigênio molecular (O₂) ocorre via processo endotérmico, catalisado por gradientes de alta tensão, conforme a reação (BOCCI, 2011):



Devido à natureza reversível dessa reação, o ozônio é instável e degrada-se espontaneamente em oxigênio, o que inviabiliza seu armazenamento prolongado. A taxa de decomposição é estritamente dependente da temperatura: a 20 °C, sua meia-vida é de 40 minutos; a 30 °C, reduz-se para 25 minutos; enquanto a temperaturas de -50 °C, a molécula pode persistir por até três meses (BOCCI, 2011).

Na natureza, o ozônio pode também ser formado por descargas elétricas atmosféricas ou pela radiação ultravioleta (UVC). Na estratosfera, concentrações de aproximadamente 10 ppm compõem a camada de ozônio, essencial para filtrar a radiação solar UVC nociva. O processo fotoquímico de formação ocorre da seguinte forma (BOCCI, 2011):



A integridade desta camada é ameaçada pela emissão de clorofluorcarbonos (CFCs), que rompem o equilíbrio entre a síntese e a dissociação natural do gás. Em termos de segurança ocupacional, o ozônio é detectável pelo olfato a partir de 0,01 ppm. A OSHA estabelece um limite de exposição de 0,1 ppm para jornadas de 8 horas, enquanto a OMS recomenda um teto mais rígido, de 0,06 ppm (BOCCI, 2011).

Atualmente, o método de descarga corona é o padrão para produção; o oxigênio flui entre eletrodos submetidos à alta tensão elétrica, criando um campo energético que dissocia o O₂ em átomos isolados ionizados (O⁻²) que, ao reagirem com moléculas de O₂ remanescentes, formam o O₃. É fundamental notar que a concentração final do gás é inversamente proporcional ao fluxo de entrada: fluxos mais elevados de oxigênio resultam em menores concentrações de ozônio (BOCCI, 2011).

5.3 Potencial de Ação do Ozônio

Historicamente, as propriedades sanitizantes do ozônio motivaram seu uso medicinal inicial durante a Primeira Guerra Mundial, quando foi aplicado nos soldados alemães para o tratamento de gangrenas devido à escassez de antibióticos. Atualmente, essa capacidade desinfetante é reconhecida globalmente, com sua aplicação consolidada em mais de 3.000 unidades de tratamento de água ao redor do mundo (BOCCI, 2011).

Como agente oxidante de alto potencial, o ozônio interage prontamente com biomoléculas presentes em fluidos biológicos, incluindo proteínas, carboidratos, antioxidantes e, com maior afinidade, ácidos graxos polinsaturados. Conforme Bocci (2011), essa interação desencadeia dois processos cruciais: a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), responsáveis por mediar diversas rotas bioquímicas, e a peroxidação lipídica, que resulta na formação de peróxido de hidrogênio e variados aldeídos, denominados produtos de oxidação lipídica (POL).

O mecanismo de ação antimicrobiana do ozônio está relacionado ao seu elevado potencial oxidativo. Inicialmente, o gás promove danos a componentes estruturais celulares, como glicolipídios, glicoproteínas e aminoácidos, podendo comprometer a integridade da membrana e levar à lise e à morte celular. Além disso, o ozônio pode reagir com grupos sulfidríla presentes em enzimas, prejudicando processos metabólicos essenciais. A oxidação também pode atingir o material genético dos microrganismos, provocando alterações nas bases púricas e pirimídicas dos ácidos nucleicos (DA SILVA et al., 2011).

A aplicabilidade do ozônio, tanto em fase gasosa quanto diluído em água, tem sido amplamente investigada. Marson et al. (2016) demonstraram que a água ozonizada em condição estática, conseguiu uma redução de 2 log na carga microbiana em endoscópios gastrointestinais, alcançando, comparável às técnicas tradicionais com glutaraldeído a 2%. Na odontologia, a associação entre água ozonizada e ultrassom mostrou-se altamente sinérgica; enquanto o uso isolado de ozônio (25 a 30 ppm) ou ultrassom (25 min) reduziu a população de *Streptococcus mutans* em 2 log, a aplicação simultânea de ambas as tecnologias resultou na eliminação total (100%) do patógeno (MOREIRA FONSECA et al., 2015).

Estudos de Megahed et al. (2018) reforçam a eficácia antimicrobiana do ozônio contra contaminantes biológicos provenientes de efluentes e resíduos pecuários varia significativamente de acordo com o meio de aplicação aquoso ou gasoso e a porosidade da superfície, apresentou resultados superiores, promovendo uma redução de 98,9% da carga microbiana. Todavia, a eficácia do método pode variar conforme a porosidade da superfície, embora a água ozonizada supere o gás em superfícies lisas, ambas as formas apresentam limitações em substratos complexos e porosos.

No âmbito da biossegurança hospitalar, Hudson, Sharma e Vimalanathan (2009) validaram o uso de um dispositivo móvel de ozônio gasoso capaz de inativar 12 tipos de vírus com redução de 3 log em concentrações de 20 a 25 ppm. No combate a bactérias multirresistentes (como *S. aureus* e *P. aeruginosa*), Tormin et al. (2016) concluíram que concentrações de 10 µg/mL aplicadas por 4 minutos possuem efeito bactericida robusto.

Staphylococcus aureus é uma bactéria do grupo dos cocos Gram-positivos, geralmente encontrada agrupada em estruturas semelhantes a cachos de uva. Apresenta importância clínica por estar associada a diversas infecções, incluindo infecções hospitalares, além de possuir fatores de virulência, como a produção de coagulase. A espécie também apresenta capacidade de crescer em meios contendo concentrações elevadas de cloreto de sódio, característica utilizada em procedimentos microbiológicos para sua identificação (SANTOS et al., 2007).

A atividade antimicrobiana do ozônio tem sido investigada como alternativa para processos de desinfecção, incluindo aplicações com água ozonizada. Em estudo experimental, a água ozonizada na concentração de 1 mg/L promoveu a eliminação de 100% de *Staphylococcus aureus* e de *S. aureus* resistente à metilicina (MRSA) após um minuto de exposição, demonstrando elevada atividade bactericida sob as condições experimentais avaliadas (YANG et al., 2018).

A grande vantagem na desinfecção do laringoscópio é que o ozônio atua penetrando em fendas onde líquidos podem falhar, sem causar o desgaste térmico típico da autoclave ou deixar os resíduos tóxicos comuns ao glutaraldeído. Além disso, o ozônio é eficaz mesmo contra biofilmes de *S. aureus*, embora exija tempos de

exposição maiores — em torno de 20 a 30 minutos para garantir a erradicação total em colônias estruturadas (TORMIN et al., 2011; PEREIRA et al., 2022). Ao final do processo, o O_3 se converte espontaneamente em O_2 , garantindo um equipamento higienizado, seguro para a mucosa do paciente e ecologicamente correto.

5.4 O Método do Difusor de Bolhas Para a Ozonização da Água

O método do difusor de bolhas (*Bubble Diffuser*) é uma técnica convencional de transferência do gás ozônio para a água, que consiste na inserção de gás através de um difusor via geração de bolhas pequenas. Segundo o estudo comparativo de Carvalho et al. (2015), este sistema utiliza geralmente um dispositivo difusor de aço inoxidável sinterizado com poros micrométricos para dispersar o gás no meio líquido em bolhas pequenas, estas dimensões em miniatura aumentam a taxa de transferência do gás para o meio líquido.

Diferente de sistemas mais dinâmicos, o difusor de bolhas apresenta características específicas que impactam a sua eficácia:

- **Cinética de Mistura e Turbulência:** Este método opera num regime de baixa turbulência, onde a mistura depende da ascensão natural das bolhas e da difusão molecular na interface entre o gás e o líquido. Carvalho et al. (2015) apontam que a ausência de uma fragmentação vigorosa das bolhas resulta em diâmetros maiores, o que reduz a área superficial total de contacto e, conseqüentemente, a eficiência da dissolução.
- **Limitações de Concentração:** Os resultados experimentais mostraram que o difusor de bolhas atinge rapidamente um estado de saturação em níveis muito baixos. Enquanto métodos mais eficientes continuam a elevar a concentração de ozônio, o difusor estabiliza em cerca de 0,12mg/L logo nos primeiros 2,5 minutos, atingindo um máximo de apenas 0,15~mg/L após 20 minutos de operação (CARVALHO et al., 2015).

5.5 Sistema Venturi Para a Ozonização da Água

O método do sistema Venturi fundamenta-se na geração de baixa pressão com a elevada velocidade de escoamento do fluido líquido, o que gera uma turbulência elevada. Essa característica permite a criação de microbolhas com uma área de

interface gás-líquido muito superior à do método convencional. O sistema de difusor de bolhas (“Bubble Diffuser”), que utiliza peças porosas sinterizadas de aço inoxidável para liberar o gás, apresenta uma cinética de mistura muito menos vigorosa (CARVALHO et al., 2015).

Nos testes comparativos realizados pelos autores, o sistema Venturi demonstrou uma superioridade notável, a eficácia da transferência de massa ozônio-líquido é sensivelmente influenciada pelo método de difusão utilizado. Em testes comparativos, o sistema baseado no injetor Venturi apresentou uma performance superior ao sistema de difusão por bolhas convencional, sendo capaz de atingir concentrações de saturação de ozônio na água significativamente mais elevadas em um menor intervalo de tempo. Enquanto o sistema de bolhas depende de uma interface passiva e limitada, o injetor Venturi promove uma mistura hidrodinâmica intensa que otimiza a dissolução do gás, tornando-o seis vezes mais eficiente na transferência de massa, o que é fundamental para protocolos que exigem alta capacidade oxidativa e rapidez operacional (CARVALHO et al., 2015).

5.6 *Staphylococcus aureus*

Caracterização e Importância Médica do *Staphylococcus aureus*

O *Staphylococcus aureus* é um microrganismo de morfologia geométrica esférica pertencente ao grupo dos cocos Gram-positivos. Embora habite comumente a microbiota da pele e das cavidades nasais em indivíduos sadios, possui um caráter patogênico oportunista considerável. Suas manifestações clínicas abrangem um espectro amplo, variando de patologias cutâneas leves, como foliculites e furúnculos, a quadros sistêmicos de alta gravidade, incluindo pneumonia, endocardite, meningite e choque séptico (SANTOS et al., 2007; MURRAY et al., 2017).

5.6.1 Morfologia e Classificação

Estruturalmente, esses cocos possuem diâmetro entre 0,5 e 1,5 μm , são imóveis e não produzem esporos e nem flagelos (KÖNEMAN et al., 2018). Uma de suas características distintivas é a organização espacial: devido à divisão celular ocorrer em três planos perpendiculares, as bactérias frequentemente se agrupam em

estruturas que remetem a cachos de uvas, embora também possam ser observadas de forma isolada ou em pares (BROOKS et al., 2014).

Historicamente, o gênero foi identificado em 1880 pelo cirurgião Alexander Ogston, que isolou o microrganismo a partir de abscessos purulentos. Taxonomicamente, o gênero *Staphylococcus* compõe a família *Micrococcaceae*. Das 33 espécies conhecidas atualmente, têm relevância clínica por infectarem seres humanos, sendo o *S. aureus* a de maior impacto, especialmente no contexto de infecções hospitalares (nosocomiais) (OGSTON, 1882; MURRAY et al., 2017).

5.7 Detergente Enzimático

Os detergentes enzimáticos e tensoativos possuem propriedades físico-químicas únicas, caracterizadas por moléculas anfifílicas que reduzem a tensão superficial da água, permitindo a penetração em áreas de difícil acesso nos instrumentais. No caso das soluções enzimáticas, a presença de enzimas específicas, como as proteases, atua como catalisador biológico que fragmenta moléculas complexas de proteínas e sujidades em partículas menores (BAJPAI; TYAGI, 2007).

Os benefícios da utilização destas soluções no reprocessamento de laringoscópios incluem a preservação do equipamento e a segurança do paciente. A remoção eficiente do biofilme orgânico evita a corrosão das lâminas e garante que o dispositivo permaneça funcional para o uso em emergências. Além disso, a limpeza profunda proporcionada pelos componentes químicos do detergente, reduz drasticamente a carga microbiana inicial, sendo um pré-requisito crítico para o sucesso da desinfecção subsequente (BAJPAI; TYAGI, 2007).

A ação para a desinfecção ocorre de forma integrada: enquanto o detergente realiza a limpeza técnica e a remoção da carga orgânica, a etapa seguinte de fricção com álcool a 70% assegura a desinfecção de nível intermediário. De acordo com o protocolo operacional, a eficácia deste processo depende da aplicação rigorosa de álcool com esfregaço por 90 segundos tanto no cabo quanto nas lâminas após a limpeza (ANVISA, 2012). Assim, a ação conjunta da quebra química das sujidades e a ação germicida do álcool garante a eliminação de patógenos, tornando o laringoscópio seguro para procedimentos de via aérea.

A eficácia da limpeza de equipamentos como o laringoscópio fundamenta-se na capacidade do detergente em reduzir a tensão interfacial entre a sujidade e a superfície do instrumental. De acordo com Adam (1937), este processo é impulsionado por moléculas anfipáticas, conhecidas como "sais de cadeia parafínica", que possuem uma extremidade solúvel em água e outra afinidade com gorduras. Esta propriedade permite permeação superior a partir da superfície, garantindo que a solução penetre em fissuras e remova camadas de matéria orgânica que, de outra forma, protegeriam microrganismos da ação de desinfetantes químicos.

Um benefício central descrito é a transformação da configuração da sujidade: ao entrar em contacto com o detergente, a gordura que estava espalhada na superfície tende a agrupar-se em gotículas esféricas, facilitando o seu deslocamento mecânico. Uma vez removida, a sujidade é mantida em suspensão através da emulsificação, o que impede a sua sedimentação no objeto limpo. No contexto clínico, esta ação é vital, pois garante que a carga biológica seja efetivamente eliminada durante o enxágue (ADAM, 1937).

Portanto, a principal vantagem da utilização de detergentes com estas propriedades é a garantia de uma superfície biologicamente “nua”. Como a desinfecção intermediária depende do contacto direto do agente germicida com os patógenos, a ação de remoção e emulsificação atua como o alicerce de todo o protocolo de segurança (ADAM, 1937).

5.8 ULTRASSOM

O início da tecnologia ultrassônica contemporânea remonta a 1880, quando os irmãos Pierre e Jacques Curie identificaram o efeito piezoelétrico na França. Anos mais tarde, Thornycroft e Sidney (1895) realizaram o registro pioneiro do fenómeno da cavitação. O potencial microbicida das ondas ultrassônicas foi demonstrado inicialmente por Harvey e Loomis (1928), embora a consolidação teórica sobre a cavitação só tenha avançado significativamente a partir de 1945, impulsionada pelo aperfeiçoamento dos transdutores e dos circuitos eletrônicos (FETYAN; SALEM ATTIA, 2020).

Fisicamente, a onda sonora caracteriza-se como energia mecânica que se propaga por meio de oscilações de pressão em meios gasosos, líquidos ou sólidos. O

ultrassom define-se como uma onda de pressão cíclica que opera em frequências superiores ao limiar de percepção do sistema auditivo humano acima de 20 kHz. Sua geração predominante ocorre por meio do efeito piezoelétrico, no qual cristais específicos convertem corrente elétrica alternada em vibrações mecânicas de alta frequência, constituindo o princípio operacional da maioria dos transdutores modernos (GOGATE, 2007).

Em sistemas líquidos, a ação mecânica do ultrassom gera como efeito secundário a cavitação acústica. Sob a influência de variações contínuas de pressão, formam-se microcavidades gasosas na solução, as quais se expandem progressivamente durante as fases de rarefação do ciclo acústico. Ao atingirem um tamanho crítico no estágio de compressão, essas bolhas sofrem implosão violenta, originando pontos de alta energia (*hot spots*). Essas micro implosões pontuais manifestam-se em escalas de microssegundos, produzindo jatos de fluido com velocidades entre 300 e 1000 m/s, além de picos locais de temperatura de 3000 a 5000° K e pressão a 500 a 10000 atm (FETYAN; SALEM ATTIA, 2020; GOGATE, 2007).

5.9 Ação microbicida do Ultrassom e remoção de biofilme

A vibração mecânica e a cavitação acústica atuam diretamente sobre a integridade estrutural dos microrganismos ao produzir tensões de cisalhamento capazes de romper a membrana celular. Embora a elucidação exata do trajeto mecanicista que conduz à inativação microbiana ainda seja objeto de debate científico, estabelece-se que o efeito bactericida resulta da atuação concomitante de diferentes vias de ação (GOGATE, 2007). Por um lado, destacam-se os efeitos puramente mecânicos e físicos, caracterizados pela indução de intensa microturbulência, microcirculação de fluido (*“acoustic streaming”*) e elevadas forças de cisalhamento. Por outro, manifestam-se efeitos químicos decorrentes da sonólise de moléculas de água, responsável pela formação local de radicais livres e espécies reativas. Quando o ultrassom é empregado em associação com agentes químicos oxidantes, os intensos gradientes de pressão aceleram o transporte de massa e a permeabilização dos sanitizantes através do envoltório celular. Adicionalmente, a força mecânica cavitacional quebra biofilmes e agregados celulares, expondo as bactérias dispersas à ação direta dos biocidas. Apesar dessa contribuição sonoquímica, a evidência científica indica que as forças mecânicas de cisalhamento

constituem o vetor primário para a inativação celular, cabendo às reações de oxidação e ao aquecimento localizado um papel predominantemente auxiliar (MASON et al., 2003).

A degradação física e a inativação de estruturas microbianas pelas ondas mecânicas e a cavitação acústica ocorrem primariamente devido às forças hidrodinâmicas de cisalhamento exercidas sobre a parede e a membrana celular. Embora os mecanismos bioquímicos exatos desse processo ainda sejam objeto de investigação, é amplamente aceito que a letalidade bacteriana resulta da ação sinérgica de múltiplos fatores (GOGATE, 2007). Dentre os mecanismos físicos, sobressaem-se a microturbulência, o fluxo acústico e o cisalhamento de alta intensidade decorrente da implosão de microbolhas. Paralelamente, os fenômenos químicos emergem da sonólise da água, processo no qual a clivagem de moléculas aquosas gera radicais livres e espécies reativas de oxigênio locais. Ao associar a cavitação a sanificantes oxidantes, como ozônio, peróxido de hidrogênio ou compostos clorados, os gradientes pressóricos gerados no meio aceleram a transferência de massa e favorecem a permeabilização da barreira celular pelos biocidas. A ação mecânica atua ainda na desarticulação de matrizes de biofilmes e agregados bacterianos, expondo células antes protegidas à ação do agente químico. Contudo, pesquisas fundamentais apontam que as tensões mecânicas e o estresse hidrodinâmico permanecem como os principais vetores da disrupção celular, desempenhando as reações químicas e os picos térmicos pontuais um papel secundário (MASON et al., 2003).

5.9.1 Durômetro

O durômetro é o instrumento de precisão utilizado para determinar a dureza de indentação de materiais, sendo um equipamento indispensável no controle de qualidade de polímeros, elastômeros como borrachas em geral. Segundo Callister Jr. e Rethwisch (2020), a dureza não é uma propriedade física intrínseca e absoluta, mas sim uma medida da resistência de um material à deformação plástica localizada. O princípio de funcionamento baseia-se na medição da profundidade da penetração de uma ponta metálica sob uma mola calibrada; quanto menor a penetração, maior é a resistência superficial do material e, conseqüentemente, maior o valor numérico da dureza obtido (ASTM D2240, 2021).

A unidade de medida é expressa em pontos na escala denominada Shore, em valor numérico adimensional que varia de 0 a 100. Conforme estabelecido pela norma ISO 48-4 (2018), essa escala é subdividida em diferentes tipos, sendo as mais comuns a Shore A e a Shore D. A escala Shore A é aplicada em materiais mais macios e flexíveis, como borrachas e elastômeros termoplásticos. Já a escala Shore D utiliza um indentador com ponta aguda e é voltada para materiais de alta rigidez, como plásticos em geral (MANO; MENDES, 2013).

A correta aplicação das normas técnicas é vital para garantir a repetibilidade dos resultados. De acordo com a ASTM D2240 (2021), fatores como a espessura mínima da amostra (geralmente 6 mm), a temperatura ambiente e o tempo de aplicação da carga que pode variar entre o valor instantâneo e a leitura após 15 segundos para observar o relaxamento de tensão influenciam diretamente na unidade final medida, sendo necessário o reporte preciso dessas condições experimentais.

A integridade do sistema de iluminação das lâminas de laringoscópio depende diretamente da eficácia dos anéis de vedação, comumente conhecidos como “O-rings”. Para esta aplicação hospitalar, a dureza do elemento vedante é um parâmetro crítico, situando-se tipicamente na faixa de 70 a 80 Shore A (ASTM D2240, 2021). Esta faixa de dureza é selecionada por oferecer o equilíbrio ideal entre flexibilidade para vedação sob compressão e resistência mecânica para suportar ciclos repetitivos de montagem, desmontagem e processos de desinfecção (GOMES, 2015).

A escolha de uma unidade de medida Shore A adequada garante que o elastômero tenha capacidade elástica suficiente para vedar o compartimento da lâmpada contra a entrada de fluidos biológicos e soluções saneantes, evitando a oxidação dos contatos elétricos e a falha do equipamento durante o procedimento de intubação (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2020). Materiais com dureza excessiva podem não comprimir o suficiente para gerar vedação, enquanto materiais muito macios podem sofrer extrusão, deformação plástica permanente e até rompimento, comprometendo a segurança do paciente.

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Tipo de Estudo

Um estudo in vitro foi conduzido por meio de análise microbiológica quantitativa para avaliar a inativação de *Staphylococcus aureus* em Lâminas de laringoscópio contaminados experimentalmente.

6.2 Local de Execução do Estudo

As etapas deste protocolo experimental foram conduzidas nas dependências do Centro de Inovação, Tecnologia e Educação (CITÉ), localizado no Parque Tecnológico de São José dos Campos, São José dos Campos, SP. Os procedimentos de contaminação microbiológica das lâminas de laringoscópio, bem como a análise e validação dos métodos de desinfecção, foram realizados nos Laboratórios de Biotecnologia e de Desinfecção/Esterilização.

6.3 Sistema Hidrodinâmico.

O presente projeto foi viabilizado através da implementação de tecnologia própria e de soluções técnicas avançadas desenvolvidas especificamente para este sistema. A seleção dos componentes estruturais priorizou materiais dotados de elevada inércia química e resistência oxidativa frente à exposição contínua ao ozônio. Entre os elementos fundamentais, destacam-se um reservatório constituído de aço inoxidável com capacidade volumétrica de 1000 mL, uma rede de dutos flexíveis compostos por silicone para o escoamento da água ozonizada, além de uma bomba hidráulica centrífuga e um injetor Venturi fabricadas em PVDF (Fluoreto de Polivinilideno), polímero reconhecido por sua estabilidade em ambientes altamente reativos. Com o intuito de assegurar a assepsia do conjunto, todos os itens, com exceção da bomba d'água e do injetor Venturi, foram submetidos a um processo de esterilização via autoclave a vapor.

Para atenuar riscos ocupacionais relacionados à inalação do gás residual, todos os ensaios experimentais ocorreram de maneira ininterrupta no interior de uma capela de exaustão. Após a etapa de contaminação controlada das amostras, limpeza física utilizando ultrassom e química associado ao detergente enzimático, as lâminas

de laringoscópio foram devidamente processadas no sistema que opera mediante um circuito hidrodinâmico fechado projetado especificamente para otimizar a transferência do gás ozônio para a fase líquida da água. Previamente ao início dos testes com as amostras, o sistema funcionou por um período de 10 minutos. Essa fase de pré-ozonização teve como meta estabilizar a concentração de ozônio na água destilada e garantir a inativação de qualquer carga microbiana remanescente internamente ao circuito hidráulico. Durante esse intervalo, monitorou-se a concentração do gás ozônio dissolvido a cada 30 segundos até o décimo minuto, utilizando-se, para tal aferição, um medidor digital de potencial de oxirredução e temperatura (Portable Orp Test Pen Alkaline Water Orp Meter ORP/Temp ORP30).

A calibração do gerador de ozônio precedeu a execução dos experimentos, sendo realizada com o auxílio de um instrumento medidor de concentração de gás ozônio (BMT 964 ST, BMT GmbH, Alemanha). O equipamento gerador de ozônio foi ajustado para fornecer uma concentração estável de 57,2 mg/L, operando com um fluxo de oxigênio medicinal de 0,25 L/min na entrada. O suprimento de oxigênio, proveniente de um cilindro pressurizado, foi direcionado ao gerador e, na sequência, o fluxo ozonizado foi conduzido ao injetor Venturi, componente vital para a dispersão eficiente do ozônio no fluxo hídrico do sistema de desinfecção. Todo o procedimento foi executado em ambiente com temperatura controlada a 21°C, condição que foi rigorosamente monitorada e mantida constante na água ao longo de toda a prática experimental para evitar variações na solubilidade do gás.

6.5 Inoculação experimental das amostras

O protocolo de contaminação experimental foi executado com o intuito de simular um desafio microbiológico padronizado. Para isso, utilizaram-se cepas de *Staphylococcus aureus* registrado: Standardized strains of *Staphylococcus aureus* (CCCD S013) submetidas a um cultivo prévio de 24 horas sob condições ideais de crescimento em estufa bacteriológica a 37°C, utilizando o meio Ágar Tryptic Soy -TSA (KASVI Platinum). Este procedimento visou garantir que as bactérias estivessem em sua fase logarítmica de crescimento, apresentando viabilidade máxima para os ensaios de desinfecção.

6.6 Suspensão Bacteriana

Antes da execução do protocolo experimental, foi conduzido um teste piloto com a finalidade de determinar a diluição mais adequada a ser utilizada no processo de contaminação das lâminas de laringoscópio. Estabeleceu-se como adequada para a contaminação das lâminas de laringoscópio a concentração de 10^6 UFC/mL, frequentemente utilizada em estudos para avaliar a eficácia de processos de esterilização e verificar se o procedimento é capaz de atingir o Nível de Garantia de Esterilidade (SAL – Sterility Assurance Level), considerado um padrão de segurança microbiológica para dispositivos médicos (SHINTANI, 2017).

Para a mensuração da turbidez, utilizou-se o turbidímetro (Plus, Alfakit, Florianópolis, Brasil). O equipamento foi previamente calibrado com água ultrapura e validado por meio dos padrões 0,5 e 4,0 da escala de McFarland. Posteriormente, a suspensão bacteriana inicial foi submetida à leitura para garantir que a concentração estivesse próxima a 10^6 UFC/mL, realizando-se novos inóculos ou diluições sempre que necessário para atingir esse parâmetro.

As colônias foram suspensas em solução fisiológica estéril (NaCl 0,9%) e a carga microbiana foi ajustada para uma concentração final próxima de 10^6 UFC/ml. Na sequência, foi realizada a inoculação física das lâminas de laringoscópio, foram imersos em frasco de vidro de 1000mL preenchidos com o inóculo bacteriano. As amostras foram mantidas em contato estático com a suspensão por um período de 40 minutos, buscou-se simular uma contaminação crítica, favorecendo a adesão bacteriana às superfícies metálicas e locais detalhados do instrumento. Após a inoculação das lâminas fora retirada e acondicionada em um recipiente estéril por 10 min para secagem.

6.7 Análise Qualitativa em meio de cultura

Para a análise qualitativa, as lâminas de laringoscópio após a execução dos protocolos de desinfecção foram imersas em um recipiente de plástico estéril contendo 1000 ml em meio de cultura TSB (Tryptic Soy Broth), então incubadas a 37° em estufa por 24 horas para verificar a presença de microrganismos viáveis sobreviveram ao processo de desinfecção.

7. PROTOCOLO PADRÃO BASEADO EM PROCEDIMENTO OPERACIONAL

O protocolo de processamento de laringoscópios fundamentado no Procedimento Operacional Padrão POP.SI.ENF.85 da Associação Saúde da Família (ASF), em conformidade com as diretrizes da Associação Paulista de Epidemiologia e Controle de Infecção Relacionada à Assistência à Saúde (APECIH, 2021). Para a execução do processo, foram utilizados Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), gaze não estéril, álcool a 70% e solução de detergente enzimático. A escolha pelo detergente enzimático justifica-se pela sua capacidade de degradar matéria orgânica e biofilmes, sendo essencial para garantir que a etapa posterior de desinfecção seja efetiva, uma vez que resíduos orgânicos impedem a ação direta do desinfetante.

A técnica inicia-se com a desmontagem completa do conjunto, incluindo a retirada de pilhas e lâmpadas.

- **Limpeza e Desinfecção do Cabo:** O cabo é submetido à limpeza com gaze umedecida em água e sabão neutro, seguida de secagem e fricção com gaze e álcool a 70% por um período de 90 segundos.
- **Processamento das Lâminas:** As lâminas são submetidas à limpeza rigorosa em toda a sua extensão com o uso de detergente enzimático, conforme as especificações de tempo e diluição do fabricante para assegurar a quebra das proteínas e lipídios. Após a ação enzimática, realiza-se o enxágue em água corrente para a remoção completa de resíduos químicos e sujidades remanescentes. A desinfecção final ocorre por meio da fricção manual com gaze e álcool a 70% por 90 segundos.

A metodologia adotada para o processamento de laringoscópios fundamenta-se nas diretrizes de segurança do paciente e controle de infecções hospitalares, seguindo o protocolo estabelecido pela ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA por meio da Resolução RDC nº 15, de 15 de março de 2012. O procedimento é dividido em etapas sistemáticas executadas pela equipe de enfermagem sob supervisão direta:

1. Preparo e Materiais Para a execução da técnica, utilizam-se Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) — luvas de procedimento, máscara,

óculos e avental — para garantir a biossegurança do operador. Os insumos incluem gaze não estéril, álcool etílico a 70% e solução de detergente enzimático ou neutro.

2. Limpeza do Equipamento A limpeza precede obrigatoriamente a desinfecção. Consiste na remoção mecânica da sujidade e redução da carga microbiana inicial.

- **Lâminas:** São submetidas à limpeza com detergente enzimático, utilizando fricção manual mecânica utilizando gaze estéril para a remoção de matéria orgânica, seguida de enxágue abundante em água corrente e secagem cuidadosa.
- **Cabo:** É realizada a limpeza com pano ou gaze umedecida em água e sabão neutro, seguida de secagem.

7.2 Desinfecção de Nível Intermediário

Após a limpeza e secagem, procede-se à desinfecção química:

- As lâminas e o cabo são submetidos à fricção com gaze embebida em álcool a 70% por três vezes, com tempo de contato total de 90 segundos (30 segundos por aplicação), conforme preconizado pela APECIH (2021).

7.3 Armazenamento e Funcionalidade

Após o processamento, o equipamento é montado e testado para garantir a funcionalidade da luz. O laringoscópio é então acondicionado em recipiente limpo, seco e fechado (como caixas plásticas ou bolsas plásticas com fecho), devidamente identificado com etiqueta constando a data do processamento e o nome do profissional responsável.

7.4 PROTOCOLO EXPERIMENTAL DE INATIVAÇÃO DE *S. AUREUS* : USO DE ULTRASSOM (DETERGENTE ENZIMÁTICO) E UM SISTEMA DE OZONIZAÇÃO HIDRODINÂMICO.

7.4.1 Sistema de higienização com Ultrassom e Detergente Enzimático

As lâminas de laringoscópio foram transferidas para uma cuba de limpeza por ultrassom MAXSONIC D-409XA com Frequência = 40KHz, Potência acústica $P = 400$ W com capacidade de 10 litros. A concentração final de detergente enzimático na cuba ultrassônica foi de 0,2%, conforme orientações do fabricante (PROZIME Plus) onde permaneceram submersas por 30 minutos com a atuação das ondas mecânicas. Após a submissão ao ultrassom, as amostras foram submetidas a um enxágue em água corrente potável (torneira) com um fluxo de água de 4 L/min por um intervalo de 5 minutos.

7.4.2 Desinfecção pelo sistema Hidrodinâmico com Ozônio

A desinfecção das lâminas foi realizada em um sistema hidrodinâmico desenvolvido para promover a circulação contínua de água ozonizada em circuito fechado (Figura 2). Nesse sistema, a transferência de ozônio para a fase líquida ocorreu por meio de um injetor do tipo Venturi, que favorece a dissolução do gás na água e a sua distribuição homogênea no circuito. Antes da introdução das lâminas contaminadas, o equipamento permaneceu em funcionamento por 10 minutos, etapa destinada à estabilização da concentração de ozônio dissolvido e à higienização prévia do todo o circuito hidráulico.

O processo foi conduzido sob condições controladas, com o gerador de ozônio ajustado para fornecer concentração de 57,2 mg/L, utilizando fluxo de oxigênio medicinal de 0,25 L/min. Todo o procedimento ocorreu em ambiente climatizado a 21 °C, temperatura mantida constante na água para favorecer a estabilidade e a solubilidade do ozônio em solução. As lâminas permaneceram expostas à dinâmica de circulação da água ozonizada por 90 minutos, permitindo a ação combinada do agente oxidante e da movimentação hidrodinâmica sobre as superfícies contaminadas da lâmina do laringoscópio.

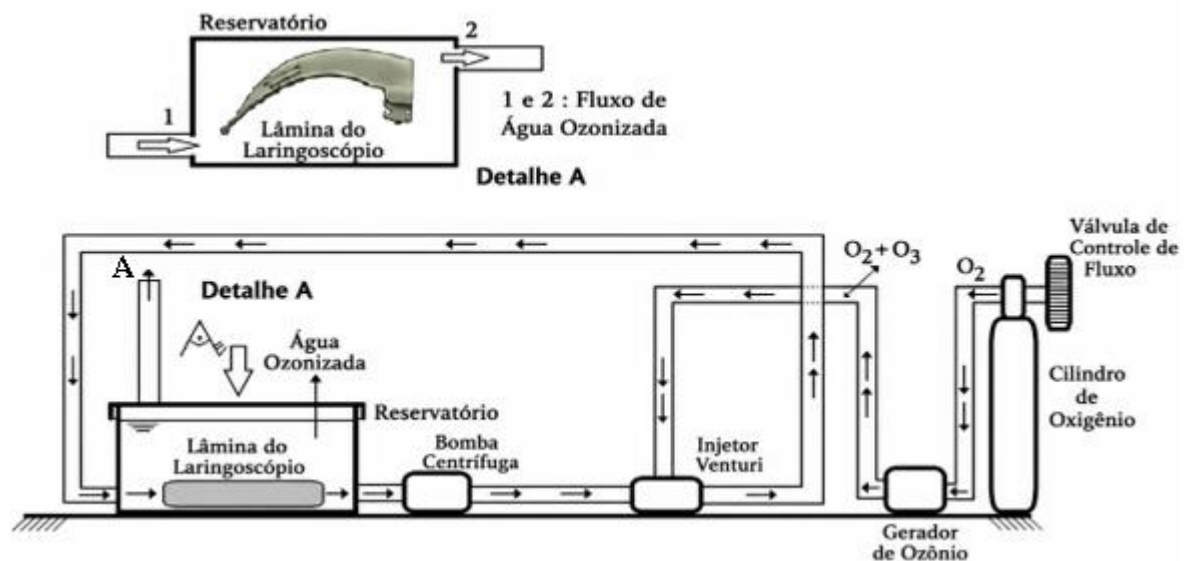


Figura 2: Aparato esquemático de montagem do procedimento de desinfecção da lâmina do laringoscópio, utilizando água ozonizada em modo dinâmico. O protocolo de ozonização utilizou o método com o injetor Venturi aliado a uma bomba d'água centrífuga, essa dinâmica permite a ação cinética da água ozonizada em toda a superfície da lâmina do laringoscópio. O detalhe A mostrado na figura acima, é uma vista de topo indicando os fluxos de entrada e saída de água ozonizada a partir do reservatório. A seta indicadora A na representação esquemática, significa que o gás O_3 excedente do processo de ozonização foi coletado, processado e liberado ao ar ambiente externo. O volume total de água em todo o circuito hidráulico envolveu o valor de 1L.

Fonte: Próprio autor

Após o período de exposição, procedeu-se à recuperação microbiológica para avaliação quantitativa da sobrevivência bacteriana, sendo todo o protocolo realizado em triplicata. Cada lâmina foi acondicionada individualmente em frascos plásticos previamente esterilizados em autoclave, contendo volumes distintos de solução salina estéril contendo 1000 mL e 200 mL para análise da influência da diluição na eficácia do processo. As amostras de 1000 mL foram submetidas à agitação mecânica por 5 minutos em equipamento agitador tipo vortex (Vortex Basic, 2800 rpm, Kasvi), enquanto as amostras de 200 ml foram submetidas à agitação manual vigorosa e constante por igual período, procedimento validado como equivalente em termos de eficiência de recuperação com o objetivo de favorecer o desprendimento de microrganismos eventualmente remanescentes na superfície do material. Em seguida, uma alíquota de 1 mL da suspensão obtida foi semeada em placas contendo Ágar Tryptic Soy e incubada a 37 °C por 24 horas. Após esse período, realizou-se a contagem manual das Unidades Formadoras de Colônia (UFC), permitindo estimar a redução microbiana obtida e avaliar a eficácia do sistema hidrodinâmico com água ozonizada frente ao *Staphylococcus aureus*.

8. AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE MECÂNICA DOS ANÉIS DE VEDAÇÃO “O-RINGS”

A análise da resistência mecânica e da degradação superficial foi realizada em dois exemplares de anéis de vedação (*O-rings*) de borracha convencional, componentes do sistema de iluminação de lâminas de laringoscópio.

Após a conclusão dos seis ciclos de processamento, as amostras foram acondicionadas em temperatura ambiente (23 ± 2 °C) para estabilização térmica antes da coleta de dados. A dureza foi mensurada utilizando um durômetro Shore A (Marca METROTOKYO modelo MTK-1030), em conformidade com as diretrizes da norma ASTM D2240 (2021).

Para cada um dos *O-rings*, foram realizadas três medições em pontos distintos da superfície elastomérica para obtenção de uma média aritmética. O durômetro foi aplicado de forma perpendicular à superfície, mantendo-se a força de contato por um tempo de indentação de 1 segundo antes da leitura final na escala de 0 a 100 Shore A. Os resultados foram registrados para avaliar se os processos de oxidação, e pela ação mecânica do ultrassom e a água ozonizada, causaram o enrijecimento ou a perda de elasticidade do polímero (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2020).

9. RESULTADOS

9.1 Determinação da Dosagem Aplicada de Ozônio

A dosagem de ozônio aplicada ao sistema foi determinada pela razão entre a carga total de ozônio fornecida e a massa física das lâminas de laringoscópio submetidas ao tratamento. De acordo com RAKNESS, et al, 1996 essa abordagem permite relacionar diretamente a quantidade de agente oxidante disponibilizado com o material processado, possibilitando reprodutibilidade experimental e comparação entre protocolos. A dose específica foi calculada conforme a seguir:

$$DAO = [(TAO) \times (T)] \div \text{Tamanho da Amostra}$$

Onde:

- TAO₃: Taxa de Alimentação de Ozônio (mg/min)
- *T*: Tempo total de aplicação (min).
- *Ta*: Massa total das lâminas (kg).

Considerando a vazão de oxigênio ajustada para 0,25 L/min, concentração de ozônio de 57,2 mg/L a partir do gerador, e tempo de exposição de 90 min, a massa total de ozônio fornecida ao sistema foi previamente determinada em 1287 mg (1,29 g). A massa da lâmina de laringoscópio utilizada no experimento foi de 81,8 g (0,0818 kg). Assim, a dose específica aplicada foi:

$$DOA = \frac{1287}{0,0818}$$
$$DOA \approx 15738 \text{ mg/kg}$$

ou aproximadamente:

$$DOA = 15,7g/Kg$$

Portanto, cada lâmina de laringoscópio demandou uma carga oxidante específica aproximada de 15,7 g de ozônio por quilograma de material, valor suficiente para promover elevada disponibilidade de espécies reativas de oxigênio durante todo o período de exposição.

Está métrica permite normalizar o protocolo experimental, assegurando que a demanda oxidativa imposta pela complexidade geométrica e pela carga orgânica.

Para determinação da dose efetiva de ozônio aplicada ao sistema hidrodinâmico foram considerados os parâmetros operacionais do gerador acoplado ao circuito Venturi (RAKNESS, et al, 1996):

- *Q* = vazão de oxigênio medicinal (L/min)
- *C* = concentração de ozônio produzido do gerador (mg/L)

- T_{O_3} = taxa de produção de ozônio (mg/min)
- m_{O_3} = massa total de ozônio fornecida ao sistema (mg)
- t = tempo de exposição (min)
- V = volume de água do reator (L)

A vazão de oxigênio foi ajustada para:

$$Q = 0,25 \text{ L/min}$$

O gerador de ozônio, previamente estabilizado, forneceu concentração média:

$$C = 57,2 \text{ mg/L}$$

A taxa de alimentação de ozônio foi então determinada por:

$$T_{O_3} = C \times Q$$

$$T_{O_3} = 57,2 \times 0,25$$

$$T_{O_3} = 14,3 \text{ mg/min}$$

Considerando o tempo total de exposição do protocolo experimental:

$$t = 90 \text{ min}$$

a massa total de ozônio fornecida ao sistema foi:

$$m_{O_3} = T_{O_3} \times t$$

$$m_{O_3} = 14,3 \times 90$$

$$m_{O_3} = 1287 \text{ mg} \approx 1,29 \text{ g}$$

Assim, aproximadamente 1,29 g de ozônio foram transferidos ao sistema aquoso durante cada ciclo experimental.

9.2 Avaliação da Inativação de *S. aureus*

Ao término deste período de incubação de 24 horas, o meio de cultura apresentou turbidez visível em todo o volume de 1000 mL. A turvação do meio é um indicador biológico direto de proliferação microbiana, confirmando que a carga

bacteriana inicial não foi totalmente eliminada durante o processo de desinfecção, mesmo no protocolo padrão e no protocolo ultrassom, detergente enzimático e ozônio em condição dinâmica.

A presença de um único microrganismo remanescente viável no meio é suficiente para desencadear a fase de crescimento exponencial quando exposto ao meio de cultura. A alteração da turbidez reflete o aumento na densidade óptica provocado pelo acúmulo de biomassa celular, confirmando que a carga bacteriana inicial não foi totalmente inativada.

A Figura 3 apresenta os resultados da contagem microbiana obtidos após a aplicação dos protocolos padrão e experimental. Adicionalmente, são apresentados os valores iniciais de contagem, utilizados para determinar a carga microbiana das amostras após a contaminação experimental. Todos os ensaios foram conduzidos em triplicata. Os resultados obtidos nas três réplicas foram de 247, 278 e 250 UFC/mL, apresentando uma contagem média de aproximadamente 258,3 UFC (equivalente a $2,6 \times 10^6$ UFC/ml). Estes valores estabelecem a linha de base necessária para o cálculo posterior da eficácia e da redução logarítmica, permitindo correlacionar a carga inicial de *Staphylococcus aureus* com a capacidade de inativa o microrganismo.

Após o protocolo experimental, não foi detectado crescimento microbiano nas alíquotas analisadas, tanto quando se empregou o volume de diluição de 200 mL quanto o de 1000 mL. Como a análise quantitativa foi realizada a partir de uma alíquota do volume total, o menor volume de diluição 200 mL proporcionou um limite de detecção mais sensível, confirmando uma carga microbiana residual de ≤ 200 UFC/mL. Em contrapartida, com o volume de 1000 mL, o limite de detecção correspondente para a alíquota testada foi de ≤ 1000 UFC/mL. É importante ressaltar que de cada frasco dos volumes de soro fisiológico de diluição 1000 e 200 mL, 3 partes de 1 mL cada foram coletadas, e transferidas aos meios de cultura, para posterior contagem em UFC.

Dessa forma, os dados demonstram que o protocolo experimental foi eficaz na inativação de *Staphylococcus aureus*, sendo a condição com 200 mL de diluente a que permitiu mensurar o menor limite quantitativo de sobrevivência microbiana.

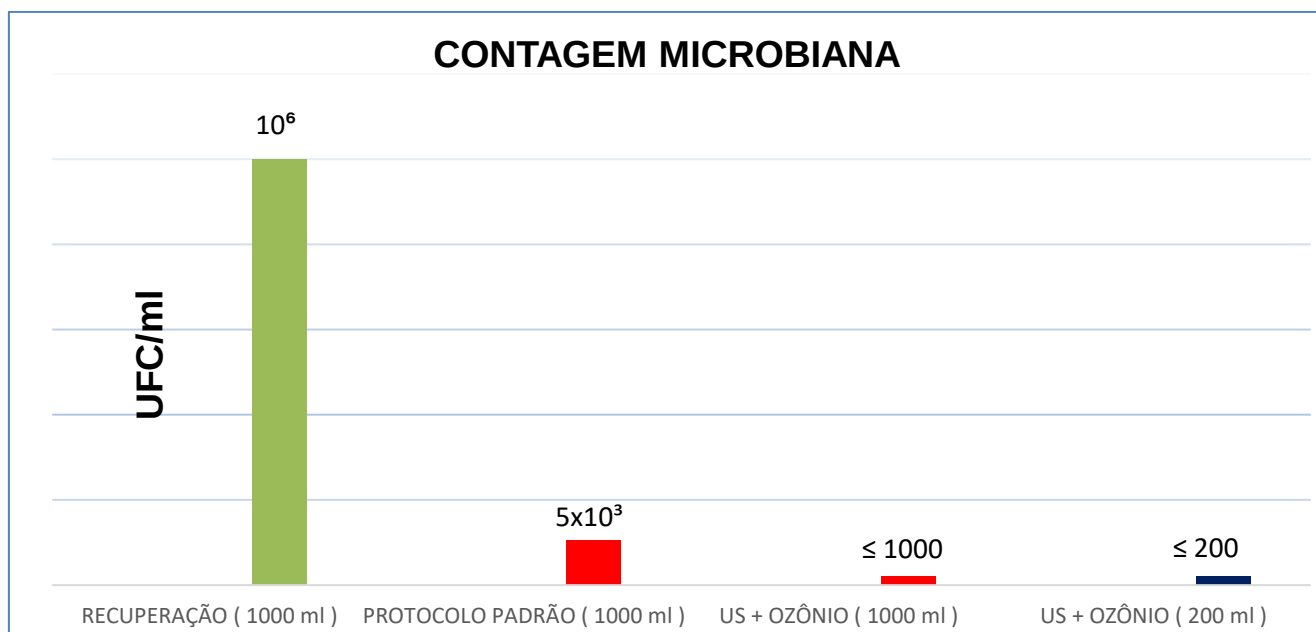


Figura 3: Contagem microbiana de *Staphylococcus aureus* após os diferentes procedimentos de processamento das lâminas de laringoscópio.
Fonte: Próprio Autor

A Figura 4 apresenta o log de redução microbiano das lâminas de laringoscópios processados com o protocolo padrão e o experimental. Os dados revelam que o protocolo padrão apresentou 3 logs de redução, que corresponde a 99,9%, enquanto o experimental (Ultrassom + Ozônio) apresentou 4 logs de redução (99,99%). Indicando assim, que o método proposto no presente estudo inativou o *S. aureus* de forma mais eficiente que o padrão.

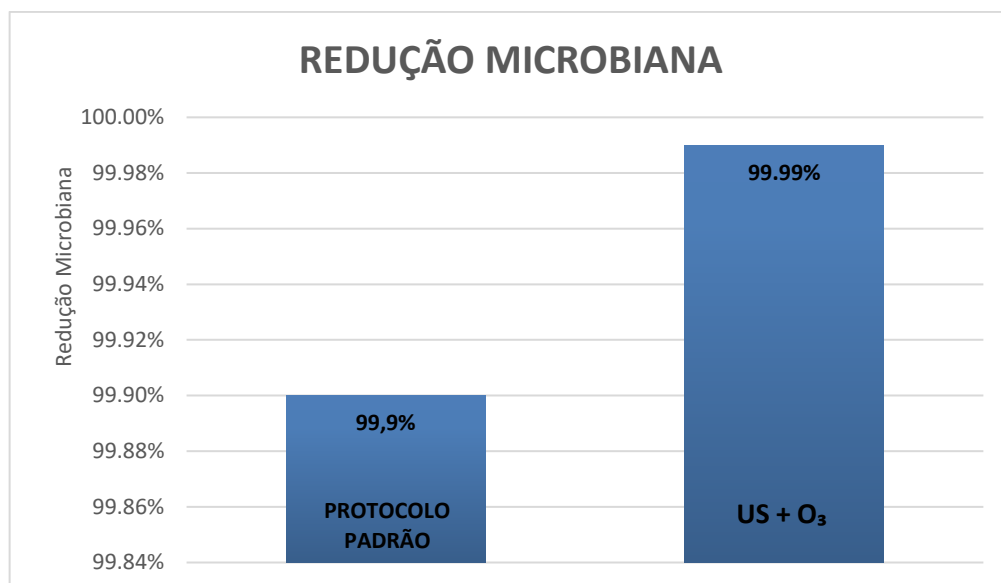


Figura 4: Comparação da eficácia percentual de redução microbiana entre o Protocolo Padrão e o método Ultrassom, detergente enzimático e ozônio.

Fonte: Próprio Autor

Os resultados apresentados na Figura 5, avaliou da dureza Shore A dos anéis *O-ring* evidencia o impacto do protocolo ultrassom, detergente enzimático e ozônio em condição dinâmica na integridade polímero. O grupo controle *O-ring Novo* apresentou uma dureza média de 73,3 Shore A, enquanto o grupo submetido ao protocolo Ultrassom, Detergente Enzimático, Ozônio registrou 62,3 Shore A. Essa variação representa uma redução aproximada de 15,0% na dureza do elastômero.

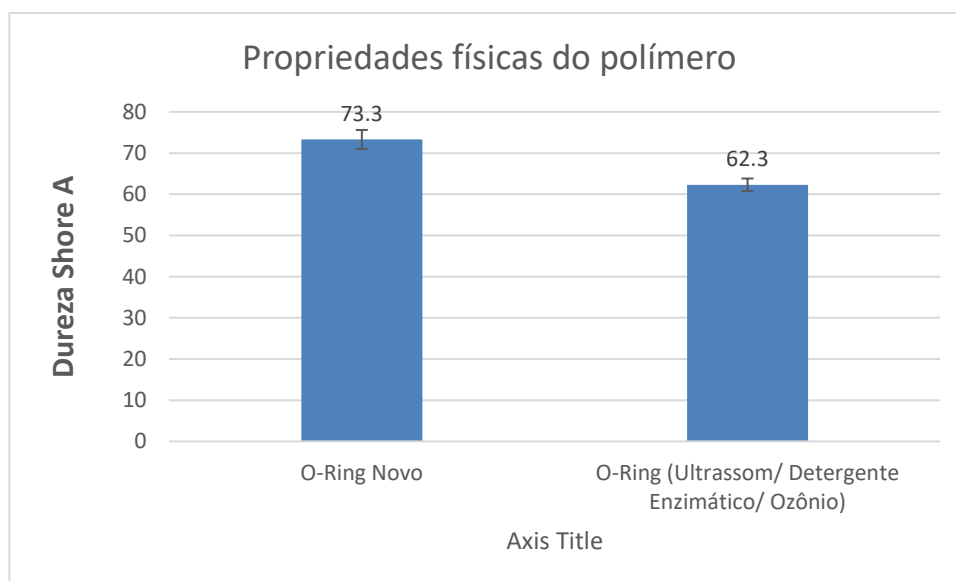


Figura 5: Os dados mostram redução nos valores de Shore A indica que a combinação da oxidação química pelo ozônio com a ação das ondas mecânicas e cavitação ultrassônica. Resultados alcançados após 6 ciclos de reprocessamento contemplando US + detergente Enzimático e água ozonizada em ação dinâmica.

Fonte: Próprio Autor

10. DISCUSSÃO

Ao término do período de incubação de 24 horas, o meio de cultura apresentou turbidez visível em todo o volume de 1000 mL. A turvação do meio é um indicador biológico direto de proliferação microbiana, confirmando que a carga bacteriana inicial não foi eliminada totalmente durante o processo de desinfecção.

A presença de um único microrganismo remanescente viável no dispositivo é suficiente para desencadear a fase de crescimento exponencial quando exposto ao meio de cultura. A alteração da turbidez reflete o aumento na densidade óptica provocado pelo acúmulo de biomassa celular, confirmando que a carga bacteriana inicial não foi inativada.

Os resultados deste estudo demonstram que a associação entre ultrassom e água ozonizada em sistema hidrodinâmico fechado promoveu redução microbiana significativa de *Staphylococcus aureus*, alcançando ausência de crescimento (0 UFC/mL) compatível com redução de 4 logs (99,99%), parâmetro reconhecido para validação de inativação microbiana (Marson et al. 2016). Segundo a classificação de Spaulding (1968), lâminas de laringoscópio exigem, no mínimo, desinfecção de alto nível por entrarem em contato com mucosas. Contudo, a literatura aponta que métodos convencionais frequentemente falham; Muscarella (2007) advertem que laringoscópios são fontes persistentes de contaminação cruzada devido ao seu design e detalhes mecânicos complexos, que favorece o acúmulo de biofilmes em ranhuras, dificultando a ação de desinfetantes químicos padronizados como o álcool 70%.

Ao investigar a eficiência da higienização dos laringoscópios, constatou-se que o protocolo de desinfecção empregado mantém resíduos de proteínas e contaminação. Embora o procedimento tenha reduzido a carga microbiana, a limpeza e desinfecção não alcançou a remoção total da matéria orgânica, sinalizando a urgência de aprimorar os protocolos institucionais (MOURA, 2025).

A escolha do *Staphylococcus aureus* como desafio biológico justifica-se por sua relevância clínica e capacidade de persistência ambiental. Conforme descrito por Santos et al. (2007) e nas obras de referência de Murray et al. (2017) e Brooks et al. (2014), o *S. aureus* possui uma parede celular robusta e propensão à formação de biofilmes, o que aumenta sua resistência a agentes antimicrobianos.

A literatura confirma que a água ozonizada possui eficácia superior na redução de cargas bacterianas persistentes em dispositivos médicos, superando em muitos casos a desinfecção química passiva por sua capacidade de oxidação direta da membrana citoplasmática bacteriana (SILVIA, et al, 2022). A eficácia da limpeza de instrumentais complexos, como as lâminas de laringoscópio, está intrinsecamente ligada à transferência de energia cinética durante a agitação da água. No processo de vibracional ultrassônico, a energia elétrica é convertida em vibrações mecânicas de alta frequência que se propagam pelo meio líquido, gerando microbolhas. Quando essas microbolhas colapsam, liberam uma energia cinética pontual intensa, criando micro jatos de água que atingem as superfícies do objeto. Essa agitação molecular vigorosa é capaz de romper as forças de adesão dos microrganismos e detritos orgânicos, removendo a carga microbiana de áreas onde a fricção mecânica manual não alcança (ENSALIA, 2012).0

De acordo com Heinzelmann et al. (2024), que ao estudarem a desinfecção de instrumentos cirúrgicos com água ozonizada e ultrassom, destacaram que a eficácia é diretamente influenciada pela geometria do objeto e pela capacidade do fluido em atingir todas as superfícies. No caso dos laringoscópios, as ranhuras, rebaixos e encaixes das lâminas podem atuar como nichos de proteção, exigindo uma otimização do fluxo hidrodinâmico para garantir que a água ozonizada penetre em áreas de difícil acesso.

A implementação da limpeza automatizada, por meio da associação entre a cuba ultrassônica e o detergente enzimático, apresenta-se como uma alternativa superior e substitutiva ao protocolo convencional de lavagem manual e esfregaço. A literatura aponta que o procedimento de fricção mecânica realizado por operadores humanos é intrinsecamente variável e sujeito a falhas de padronização na atuação do procedimento, o que pode comprometer principalmente a desinfecção de áreas críticas e de difícil acesso, como as articulações, furos e ranhuras das lâminas de laringoscópio. Ao dispensar a manipulação direta e o esforço repetitivo do profissional, o sistema ultrassônico utiliza além da atividade vibracional mecânica de elevada frequência, também a energia cinética da cavitação para garantir a remoção homogênea do biofilme em toda a extensão do instrumental. Portanto, a automação do processo não apenas otimiza o tempo de trabalho, mas atua como uma barreira

crítica contra o erro humano, eliminando a subjetividade do esfregaço manual e garantindo a reprodutibilidade necessária para a segurança do paciente (SOBECC, 2021; RUTALA; WEBER, 2019).

Um levantamento nacional realizado com 248 anestesiológicos revelou que 90% dos profissionais utilizam dispositivos com lâmina e cabo reutilizáveis. Entretanto, os dados indicam uma lacuna importante na padronização: 31,5% dos entrevistados não possuem um protocolo institucional de desinfecção e 45% desconhecem o procedimento exato adotado em seus hospitais. Adicionalmente, 50% dos centros não submetem o cabo do laringoscópio à desinfecção de alto nível e apenas 16% realizam o armazenamento em recipientes selados. Essa realidade reflete-se na percepção de segurança, com 70% dos participantes afirmando que o material reprocessado não oferece as mesmas garantias de um dispositivo de uso único (Gómez-Ríos et al., 2023).

Marson et al. (2016), ao avaliarem a desinfecção de endoscópios gastrointestinais, ressaltam que a água ozonizada é um agente biocida potente, capaz de inativar microrganismos de alta resistência, como o *Staphylococcus aureus*, mesmo em tempos de exposição reduzidos. Todavia, é relevante notar que, no estudo de Marson, a aplicação da água ozonizada ocorreu de maneira estática.

Heinzelmann et al. (2024) observaram que o reprocessamento com água ozonizada não causa danos significativos aos instrumentos metálicos quando comparado a métodos térmicos. Da mesma forma, Marson et al. (2016) demonstrou a eficácia microbida da água ozonizada durante o processo de desinfecção de endoscópios gastrointestinais, comparando-se sua ação com o método convencional utilizando glutaraldeído a 2%.

Este equilíbrio entre o alto potencial germicida e a baixa agressividade material habilita a tecnologia como uma alternativa viável para elevar os padrões de segurança em procedimentos de intubação orotraqueal (CORREA et al., 2009; PONTES et al., 2007).

Conforme estabelecido pela norma ASTM D2240 (2021), a estabilidade da dureza é um indicador da vida útil de componentes de vedação. A variação negativa

encontrada aponta para uma perda da propriedade elástica. Em termos práticos, para a aplicação em laringoscópios, esta redução de dureza indica que o anel de vedação “O-ring” pode não retornar à sua forma original após a compressão, comprometendo a estanqueidade e a segurança do equipamento durante o uso clínico (GENT, 2012).

A análise das propriedades físicas do elastômero, após a exposição aos agentes sanitizantes, revelou um comportamento atípico frente aos mecanismos de oxidação e ação mecânica. A literatura descreve que o envelhecimento de elastômeros por ozonização resulta no incremento da dureza e na concomitante perda de elasticidade, fenômeno atribuído à formação de ligações cruzadas (*cross-linking*) que restringem a mobilidade das cadeias poliméricas (CANEVAROLO, 2019). Todavia, os dados experimentais obtidos nesta pesquisa indicam uma tendência diametralmente oposta.

A redução nos valores de Shore A indica que a combinação da oxidação química pelo ozônio com a ação mecânica da vibração e cavitação ultrassônica foi agressiva o suficiente para romper as macromoléculas do polímero. A fragmentação das cadeias reduz a densidade de emaranhamento molecular, resultando em um material mais "macio", porém estruturalmente fragilizado.

É imperativo ressaltar que a diminuição da dureza não se traduz em ganho de elasticidade funcional ou melhoria no desempenho. Pelo contrário, a queda nos valores de Shore A, quando associada a processos oxidativos, é um indicador fidedigno de degradação estrutural. Para componentes de vedação, como os O-rings de laringoscópios, essa alteração compromete a propriedade elástica e a capacidade de compressão, elevando o risco de deformações permanentes e falhas de vedação em curto prazo. Neste sentido, os dados sugerem que o protocolo de experimental utilizado no presente estudo induz uma degradação prematura do elastômero, evidenciando uma incompatibilidade entre os parâmetros do ciclo (tempo/concentração) e a resistência físico-química do polímero utilizado no dispositivo.

A redução de aproximadamente 15% na resistência à penetração sugere que, em vez do enrijecimento esperado, o material sofreu um processo de redução da dureza por degradação. Tal fenômeno pode ser explicado pela cisão das cadeias

poliméricas; a ruptura das macromoléculas em segmentos menores fragiliza a coesão interna da matriz elastomérica, resultando em um material com menor resistência mecânica.

Estudos complementares são necessários para avaliar o desempenho do sistema frente a bactérias Gram-negativas, como *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli*, cujas membranas externas de lipopolissacarídeos constituem uma barreira adicional de permeabilidade (BLOCK, 2020). Por fim, o desafio mais rigoroso para o enquadramento definitivo do sistema na categoria de DAN reside no teste com esporos bacterianos (como *Bacillus subtilis* ou *Bacillus atrophaeus*) considerados os microrganismos de referência por apresentarem altíssima resistência natural devido às camadas protetoras rígidas que envolvem o esporo (MCDONNELL, 2020). A realização desses ensaios em etapas futuras possibilitará delimitar o real espectro microbida da tecnologia e consolidar os parâmetros operacionais para a segurança no reprocessamento.

Embora o sistema desenvolvido tenha apresentado capacidade de inativar o *S. aureus* em lâminas de laringoscópio, deve-se considerar que os componentes de vedação do circuito hidrodinâmico, especialmente o anel de vedação (O-ring), estão sujeitos ao desgaste. Ao longo dos ciclos de operação, podem ocorrer alterações nas propriedades mecânicas do elastômero, como perda de elasticidade, deformações permanentes e microfissuras, capazes de comprometer a eficiência da vedação. Dessa forma, recomenda-se a inspeção periódica do O-ring a cada 6 ciclos e sua substituição preventiva sempre que forem observados sinais de degradação. Por se tratar de um componente de baixo custo e de fácil reposição, sua substituição não compromete a viabilidade econômica do sistema e contribui para a manutenção da segurança operacional e da confiabilidade do equipamento.

11. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que combinar o ultrassom com detergente enzimático, e posteriormente usar a dinâmica da água ozonizada mostrou-se eficiente para desinfecção de lâmina de Laringoscópio. Mesmo

partindo de uma contaminação inicial elevada, o protocolo testado alcançou a desinfecção, superando o rendimento do Procedimento Operacional Padrão (POP) atual.

A atividade vibracional mecânica e o efeito de cavitação associada a ação do detergente enzimático, atuaram na remoção do biofilme em pontos críticos e de difícil acesso, como ranhuras e articulações. Essa semi automação reduz a dependência da lavagem manual e do esfregaço, minimizando a variabilidade individual do operador e garantindo maior consistência no controle microbiológico.

Na etapa de desinfecção, a água ozonizada na condição dinâmica atuou como um biocida eficiente.

Assim, além de assegurar a desinfecção do material, essa proposta se mostra mais segura tanto para a equipe que manuseia o instrumental quanto para o paciente, com a vantagem de ser um processo limpo, sustentável e sem resíduos tóxicos. Esses achados reforçam a necessidade da revisão de protocolos hospitalares atuais para adotar tecnologias automatizadas e reduzir o risco de infecção cruzada.

Por fim, a troca periódica do anel de vedação mostrou-se uma medida viável. Por se tratar de um insumo de baixo custo, a substituição preventiva a cada 6 ciclos impede que a degradação do elastômero comprometa o funcionamento do sistema, mantendo a confiabilidade do processo sem impactar significativamente o orçamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, N. K. Detergent action and its relation to wetting and emulsification. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**, v. 53, n. 4, p. 121-129, 1937. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.1937.tb01955.x>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2240**: standard test method for rubber property—durometer hardness. West Conshohocken: ASTM International, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1520/D2240-15R21>

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 15, de 15 de março de 2012. Dispõe sobre os requisitos de boas práticas para o processamento de produtos para saúde e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 16 mar. 2012.

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE EPIDEMIOLOGIA E CONTROLE DE INFECÇÃO RELACIONADA À ASSISTÊNCIA À SAÚDE. **Limpeza, desinfecção e esterilização de produtos para saúde**. 4. ed. São Paulo: APECIH, 2021.

ASSOCIAÇÃO SAÚDE DA FAMÍLIA. **POP.SI.ENF.85**: limpeza e desinfecção de laringoscópios. Versão 01. São Paulo: ASF, 2024.

AZARPOZHOOH, A.; LIMEBACK, H. The application of ozone in dentistry: a systematic review of literature. **Journal of Dentistry**, v. 36, n. 2, p. 104-116, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.11.008>

BAJPAI, D.; TYAGI, V. K. Laundry detergents: an overview. **Journal of Oleo Science**, v. 56, n. 7, p. 327-340, 2007.

BOCCI, V. A. **Ozone**: a new medical drug. 2. ed. Dordrecht: Springer, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9234-2>

BROOKS, G. F. *et al.* **Microbiologia médica de Jawetz, Melnick & Adelberg**. 26. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

BRUNA, C. Q. M. *et al.* Processamento de cabos de laringoscópio: revisão integrativa. **Revista SOBECC**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 37-45, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z1414-4425201600010006>

BLOCK, S. S. **Disinfection, Sterilization, and Preservation**. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2020.

BUIS, M. L. *et al.* Defining the learning curve for endotracheal intubation using direct laryngoscopy: a systematic review. **Resuscitation**, v. 99, p. 63–71, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.11.005>

CALL, T. R. *et al.* Nosocomial contamination of laryngoscope handles: challenging current guidelines. **Anesthesia & Analgesia**, v. 109, n. 2, p. 479–483, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e3181ac1080>

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CARVALHO, H. C. *et al.* Effectiveness of ozone-liquid mass transfer aiming ozone therapy. **IFMBE Proceedings**, v. 51, p. 1283-1285, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19387-8_311

CENTURIÓN, M. P. B. *et al.* Detergentes enzimáticos no reprocessamento de produtos para a saúde. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 33-41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22239/2317-269x.01248>

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically**: approved standard. 9. ed. Wayne: CLSI, 2012. (CLSI document M07-A9).

CORREA, J. B. B. *et al.* Curva Cusum na avaliação do treinamento da intubação orotraqueal com o laringoscópio Truview EVO2®. **Brazilian Journal of Anesthesiology**, v. 59, n. 3, p. 321-331, 2009.

DA SILVA, S. B. *et al.* Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 32, n. 2, p. 659-682, 2011.

FETYAN, N. A. H.; SALEM ATTIA, T. M. Water purification using ultrasound waves: application and challenges. **Arab Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 27, n. 1, p. 194-207, 2020.

GOGATE, P. R. Application of cavitational reactors for water disinfection: current status and path forward. **Journal of Environmental Management**, v. 85, n. 4, p. 801-815, 2007.

GÓMEZ-RÍOS, M. Á. *et al.* Disinfection of reusable laryngoscopes: a survey about the clinical practice in Spain. **Healthcare**, v. 11, n. 8, p. 1117, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare11081117>

GUZEL-SEYDIM, Z. B.; GREENE, A. K.; SEYDIM, A. C. Use of ozone in the food industry. **LWT - Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 453-460, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.014>

HARRIS, J. P.; LOPMAN, B. A.; O'BRIEN, S. J. Infection control measures for norovirus: a systematic review of outbreaks in semi-enclosed settings. **Journal of Hospital Infection**, v. 74, n. 1, p. 1-9, 2010.

HEINZELMANN, T. R. O. *et al.* Disinfection of surgical instruments using a hydrodynamic system with ozonated water and ultrasound: preliminary study. **Ozone: Science & Engineering**, v. 46, n. 4, p. 331-340, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2024.2312904>

HUDSON, J. B.; SHARMA, M.; VIMALANATHAN, S. Development of a practical method for ozone gas decontamination of virus-contaminated surfaces. **Journal of Hospital Infection**, v. 72, n. 2, p. 145-152, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2009.02.016>

JABER, S. *et al.* Clinical practice and risk factors for immediate complications of endotracheal intubation in the intensive care unit: a prospective, multiple-center study. **Critical Care Medicine**, v. 34, n. 9, p. 2355-2361, 2006.

KONEMAN, E. W. *et al.* **Diagnóstico microbiológico**: texto e atlas colorido. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

LANGLAIS, B.; RECKHOW, D. A.; BRINK, D. R. **Ozone in water treatment**: principles and applications. Chelsea: Lewis Publishers, 1991.

LEVITAN, R.; OCHROCH, E. A. Airway management and direct laryngoscopy: a review and update. **Critical Care Clinics**, v. 16, n. 3, p. 373-388, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0749-0704\(05\)70118-4](https://doi.org/10.1016/S0749-0704(05)70118-4)

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 1999.

MCDONNELL, G. E. **Antisepsis, Disinfection, and Sterilization**: Types, Action, and Resistance. 2nd ed. Washington, DC: ASM Press, 2017.

MARSON, R. F. *et al.* Use of ozonated water for disinfecting gastrointestinal endoscopes. **Ozone: Science & Engineering**, v. 38, n. 6, p. 445-452, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2016.1192455>

MASON, T. J. *et al.* Potential uses of ultrasound in the biological decontamination of water. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 10, n. 6, p. 319-323, 2003.

MCFARLAND, J. The nephelometer: an instrument for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines. **Journal of the American Medical Association**, v. 49, n. 14, p. 1176-1178, 1907. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.1907.25320140022001f>

MEGAHED, A. *et al.* The microbial killing capacity of aqueous and gaseous ozone on different surfaces contaminated with dairy cattle manure. **PLoS ONE**, v. 13, n. 5, p. e0196555, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196555>

MURRAY, P. R.; ROSENTHAL, K. S.; PFALLER, M. A. **Microbiologia médica**. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

MUSCARELLA, L. F. Recommendations to resolve inconsistent guidelines for the reprocessing of sheathed and unsheathed rigid laryngoscopes. **Infection Control and Hospital Epidemiology**, v. 28, n. 4, p. 504-507, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1086/513447>

OGSTON, A. Micrococcus poisoning. **Journal of Anatomy and Physiology**, v. 17, n. 1, p. 24–58, 1882.

PARK, D. H. Nasotracheal intubation for airway management during anesthesia. **Anesthesia and Pain Medicine**, v. 16, n. 3, p. 232-247, 2021.

PASSOS, T. M. *et al.* Comparative analysis of ozone and ultrasound effect on the elimination of *Giardia* spp. cysts from wastewater. **Ozone: Science and Engineering**, v. 36, n. 2, p. 138–143, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2013.864227>

PEREIRA, R. S. **Eficácia de Lifo-Scrub® na antisepsia pré-operatória das mãos: comparação de dois protocolos de lavagem**. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade [Nome da Instituição], [Local], 2023.

PONTES, P. *et al.* Novo laringoscópio de suspensão: avaliação pré-clínica. **Acta ORL**, v. 25, n. 4, p. 255-325, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z1414-4425201600010006>

RAKNESS, K. *et al.* Guideline for measurement of ozone concentration in the process gas from an ozone generator. **Ozone: Science & Engineering**, v. 18, n. 3, p. 209-229, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919519608547327>

RUTALA, W. A.; WEBER, D. J. **Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities**. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention, 2008. Disponível em: <https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/disinfection-and-sterilization/index.html>. Acesso em: 2 set. 2026.

SANTOS, A. L. S. *et al.* *Staphylococcus aureus*: visitando uma linhagem de importância hospitalar. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 6, p. 413-423, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1676-24442007000600005>

SHINTANI, H. Ethylene oxide gas sterilization of medical devices. **Biocontrol Science**, v. 22, n. 1, p. 1-16, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4265/bio.22.1>

SOUSA, A. C. N.; LEVY, C. E.; FREITAS, M. I. P. Laryngoscope blades and handles as sources of cross-infection: an integrative review. **Journal of Hospital Infection**, v. 83, n. 4, p. 269-275, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2012.10.015>

SPAULDING, E. H. Chemical disinfection of medical and surgical materials. *In*: BLOCK, S. S. **Disinfection, sterilization and preservation**. Philadelphia: Lea & Febiger, 1968. p. 517-531.

TERRA, I. A. A. *et al.* Técnicas de caracterização de polímeros. *In*: SANFELICE, R.; PAVINATTO, A.; CORRÊA, D. S. (org.). **Nanotecnologia aplicada a polímeros**. São Paulo: Blucher, 2022. p. 497-590. DOI: <https://doi.org/10.5151/9786555502527-15>

TORMIN, S. C. *et al.* Análise do efeito bactericida do ozônio sobre bactérias multirresistentes. **Arquivos Médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo**, v. 61, n. 3, p. 138-141, 2016.

TRIPATHI, S.; BHARDWAJ, N. K.; GHATAK, H. R. Developments in ozone-based bleaching of pulps. **Ozone: Science & Engineering**, v. 42, n. 2, p. 194-210, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1647407>

VAN LEEUWEN, J. Proposed OS&E requirement: measuring ozone dosage. **Ozone: Science & Engineering**, v. 37, n. 2, p. 191-192, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2015.1006467>

VERSALOVIC, J. *et al.* **Manual of clinical microbiology**. 10. ed. Washington, DC: ASM Press, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1128/9781555816728>

VYAS, N. *et al.* Which parameters affect biofilm removal with acoustic cavitation? A review. **Ultrasound in Medicine and Biology**, v. 45, n. 5, p. 1044-1055, 2019.

WANG, G. *et al.* High-quality 3D structures shine light on antibacterial, anti-biofilm and antiviral activities of human cathelicidin LL-37 and its fragments. **Biochimica et Biophysica Acta – Biomembranes**, v. 1838, n. 9, p. 2160-2172, 2014.

YANG, Y. *et al.* The antibacterial effect of topical ozone on the treatment of MRSA skin infection. **Molecular Medicine Reports**, v. 17, n. 2, p. 2449-2455, 2018.

ZHANG, Y. Q. Clinical application of nasotracheal intubation: a narrative review. **Preprints**, 2025011984, 2025.