

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

ANA CLARA MIARELLI FORTUNA

JOSÉ ROBERTO RODINI CALDARI

MARIA FERNANDA MARCHI

MARIA OLÍVIA MARCONDES PINTO

**FOTOSSENSIBILIZANTE FUCSINA IRRADIADO COM LED AZUL
(FOTOPOLIMERIZADOR) PARA DESINFECÇÃO DA DENTINA CARIADA:
ESTUDO *IN VITRO***

CAMPINAS

2025

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

ESCOLA DE CIÊNCIAS DA VIDA

FACULDADE DE ODONTOLOGIA

ANA CLARA MIARELLI FORTUNA

JOSÉ ROBERTO RODINI CALDARI

MARIA FERNANDA MARCHI

MARIA OLÍVIA MARCONDES PINTO

**FOTOSSENSIBILIZANTE FUCSINA IRRADIADO COM LED AZUL
(FOTOPOLIMERIZADOR) PARA DESINFECÇÃO DA DENTINA CARIADA:
ESTUDO *IN VITRO***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Odontologia do Centro de
Escola de Ciências Vida, da Pontifícia Universidade
Católica de Campinas, como exigência para
obtenção do grau de Cirurgião-Dentista

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Luiz Pinheiro

CAMPINAS

2025

Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI
Gerador de fichas catalográficas da Universidade PUC-Campinas
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

F745f	<p>FORTUNA, Ana Clara Miarelli</p> <p>FOTOSSENSIBILIZANTE FUCSINA IRRADIADO COM LED AZUL (FOTOPOLIMERIZADOR) PARA DESINFECÇÃO DA DENTINA CARIADA: ESTUDO IN VITRO / Ana Clara Miarelli FORTUNA ... [et al.] . - Campinas: PUC-Campinas, 2025.</p> <p>76 f.</p> <p>Orientador: Sergio Luiz Pinheiro.</p> <p>TCC (Bacharelado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Escola de Ciências da Vida, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2025. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Formulário. 2. Ficha catalográfica. 3. Biblioteca. I. FORTUNA, Ana Clara Miarelli et al. II. Pinheiro, Sergio Luiz. III. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Escola de Ciências da Vida. Faculdade de Odontologia. IV. Título</p>
-------	--

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

ESCOLA DE CIÊNCIAS DA VIDA

FACULDADE DE ODONTOLOGIA

ANA CLARA MIARELLI FORTUNA

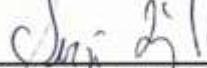
JOSÉ ROBERTO RODINI CALDARI

MARIA FERNANDA MARCHI

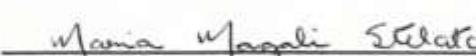
MARIA OLÍVIA MARCONDES PINTO

**FOTOSSENSIBILIZANTE FUCSINA IRRADIADO COM LED AZUL
(FOTOPOLIMERIZADOR) PARA DESINFECÇÃO DA DENTINA CARIADA:
ESTUDO IN VITRO**

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado dia
19 de novembro de 2025 pela comissão examinadora:


Prof. Dr. Sérgio Luiz Pinheiro
Pontifícia Universidade Católica de Campinas


Prof. Dr. Carlos Eduardo Fontana
Pontifícia Universidade Católica de Campinas


Profa. Dra. Maria Magali Stelato
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

CAMPINAS

2025

DEDICATÓRIA

A todas as pessoas para as quais este trabalho possa ser útil, que ele contribua de alguma forma para o crescimento do conhecimento e da prática odontológica.

Aos nossos familiares e amigos, por todo o amor, apoio, paciência e incentivo em cada etapa dessa jornada. Sem vocês, nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou com o apoio e o carinho de muitas pessoas que fizeram parte dessa caminhada.

Agradecemos às nossas famílias e amigos, pelo amor, incentivo e paciência em todos os momentos, especialmente nos dias mais desafiadores.

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Sérgio Luiz Pinheiro, expressamos nossa sincera gratidão pela dedicação, pelas orientações valiosas e pela confiança depositada em nosso trabalho.

À banca examinadora, Prof. Dr. Carlos Eduardo Fontana e Profa. Dra. Maria Magali Stelato pela presença e pela disponibilidade em avaliar este trabalho.

Também agradecemos às técnicas do Laboratório de Microbiologia, Andréia Rodrigues Bucci e Nathalia Cogo, por todo suporte, disponibilidade e atenção durante o desenvolvimento deste estudo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este projeto se concretizasse, o nosso muito obrigado.

EPÍGRAFE

“Feliz aquele que transfere o que sabe
e aprende o que ensina”

Cora Coralina
(1889 - 1985)

RESUMO

As evidências científicas atuais indicam a Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana (aPDT) para a desinfecção do tecido cariado utilizando como fotossensibilizante o azul de metileno e o laser vermelho. Porém, muitos dentistas não têm o laser no consultório. Uma alternativa seria a utilização do fotopolímerizador como fonte de luz e um fotossensibilizante que pudesse absorver essa luz. Esse trabalho avaliou a fucsina como fotossensibilizante na aPDT para desinfecção da dentina cariada. Foram selecionados 60 terceiros molares permanentes, superfícies dentinárias planas foram obtidas e as amostras foram submetidas ao desafio cariogênico com cepa padrão de *S. mutans*. Os espécimes foram distribuídos aleatoriamente em 4 grupos (n=15): C: controle, nenhum procedimento de desinfecção foi realizado; FTFC: aplicação do fotossensibilizante fucsina; LDA: irradiação com LED azul; FTFC + LDA: aPDT com FTFC+LDA. Foi feita a contagem de *S. mutans* da dentina cariada remanescente de todos os grupos amostrais. Os resultados foram submetidos ao teste estatístico de Kruskal-Wallis (Student-Newman-Keuls). A maior redução de *S. mutans* ocorreu no grupo aPDT com FTFC + LDA azul com diferença significante em relação ao grupo C ($p<0.0001$), ao grupo FTFC ($p=0.0452$) e LDA ($p=0.0024$). A porcentagem de redução microbiana foi: aPDT com FTFC + LDA 96.07%, LDA 88.85% e FTFC 85.46%. Na MEV, foi possível observar após a realização da aPDT com fucsina e LED azul, a maior redução microbiana entre os grupos amostrais, com remoção da *smear layer* e exposição dos túbulos dentinários. Foi possível concluir que a fucsina irradiada com LED azul (fotopolímerizador) pode ser utilizada na aPDT para desinfecção do tecido cariado.

Palavras-chave: Cárie dentinária; Desinfecção; LED; Fucsina; aPDT

ABSTRACT

Current scientific evidence indicates Antimicrobial Photodynamic Therapy (aPDT) for the disinfection of carious tissue using methylene blue and red laser as photosensitizers. However, many dentists do not have a laser in their office. An alternative would be the use of a photopolymerizer as a light source and a photosensitizer that could absorb this light. This study evaluated fuchsin as a photosensitizer in aPDT for the disinfection of carious dentin. Sixty permanent third molars were selected, flat dentin surfaces were obtained, and the samples were subjected to cariogenic challenge with a standard strain of *S. mutans*. The specimens were randomly distributed into 4 groups (n=15): C: control, no disinfection procedure was performed; FTFC: application of the photosensitizer fuchsin; LDA: irradiation with blue LED; FTFC + LDA: aPDT with FTFC+LDA. The count of *S. mutans* in the remaining carious dentin of all sample groups was performed. The results were subjected to the Kruskal-Wallis (Student-Newman-Keuls) statistical test. The greatest reduction in *S. mutans* occurred in the aPDT group with FTFC + blue LDA, with a significant difference compared to group C ($p<0.0001$), the FTFC group ($p=0.0452$), and LDA ($p=0.0024$). The percentage of microbial reduction was: aPDT with FTFC + LDA 96.07%, LDA 88.85%, and FTFC 85.46%. SEM showed, after performing aPDT with fuchsin and blue LED, the greatest microbial reduction among the sample groups, with removal of the smear layer and exposure of the dentinal tubules. It was possible to conclude that fuchsin irradiated with blue LED (photopolymerizer) can be used in aPDT for disinfection of carious tissue.

Keywords: Dentin caries; Disinfection; LED; Fuchsin; aPDT

LISTA DE IMAGENS

Figura 1 (Remoção do terço oclusal dos dentes)	47
Figura 2 (Dentes com terço oclusal removido com brocas diamantadas e lixa d'água)	47
Figura 3 (Dentes impermeabilizados com esmalte de unha e resina epóxi, fixados em tampas através de fios ortodônticos. Meio de sobrevivência BHI suplementado com glicose 1%, extrato de levedura 0,5% e sacarose 1% e uma cepa padrão de <i>S.mutans</i> (ATCC 25175)).....	48
Figura 4 (Amostras em jarras de anaerobiose por 15 dias).....	48
Figura 5 (Aferição do pH diariamente e renovação do meio de sobrevivência)	48
Figura 6 (Aplicação ativa da fucsina 0,005% com microbrush).....	50
Figura 7 (Irradiação com LED azul)	50
Figura 8 (Coleta da lesão de cárie dentinária)	51
Figura 9 (Inserção do material em tubos de ensaio contendo água peptonada e homogeneização)	51
Figura 10 (3 alíquotas de 25 uL com micropipetador em placas de BHI ágar)	52
Figura 11 (Contagem total de bactérias viáveis).....	52
Figura 12 (A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para análise qualitativa da desinfecção do tecido cariado).....	53
Figura 13 (Lesão de cárie dentinária. Notar grande contaminação microbiana e presença de <i>smear layer</i>).....	57
Figura 14 (Lesão de cárie dentinária após a irradiação com LED. Observar diminuição da contaminação por <i>S. mutans</i> e remoção da <i>smear layer</i> com exposição dos túbulos dentinários).....	58
Figura 15 (Lesão de cárie dentinária após a aplicação da fucsina. Observar remoção da <i>smear layer</i> , túbulos dentinários e redução microbiana).....	59
Figura 16 (Lesão de cárie dentinária após a realização da aPDT com fucsina e LED azul. Observar a limpeza dentinária com praticamente ausência de contaminação, remoção da <i>smear layer</i> e exposição dos túbulos dentinários).....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 [Medianas (MD), desvios interquartílicos (DI), médias aritméticas (MA), desvios padrão (DP) e teste estatístico de Kruskal-Wallis (Student-Newman-Keuls) da contagem das UFC/mL de <i>S. mutans</i> dos grupos amostrais]	54
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 [Box-Plot: medianas e quartis e teste estatístico de Kruskal-Wallis (Student-Newman-Keuls) da contagem das UFC/mL de <i>S. mutans</i> dos grupos amostrais]	55
Gráfico 2 [Porcentagem de redução de <i>S. mutans</i> da lesão de cárie dentinária após os protocolos de desinfecção com LDA, FTFC e FTFC + LDA].....		56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- aPDT – Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana
ATCC – American Type Culture Collection
BHI – Brain Heart Infusion
CAAE – Certificado de Apresentação de Apreciação Ética
CFU – *Colony Forming Unit*
DI – Desvio Interquartílico
DP – Desvio Padrão
FTFC – Fotossensibilizante Fucsina
HMDS – Hexametildisilazano
J – Joule
kV – Quilovolt
LDA – LED Azul
LED – *Light Emitting Diode*
MA – Média Aritmética
MD – Mediana
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
nm – Nanômetro
pH – Potencial Hidrogeniônico
PUC-Campinas – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
ROS – *Reactive Oxygen Species*
SP – São Paulo
UFC – Unidade Formadora de Colônia

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
3.	OBJETIVOS.....	45
4.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	46
4.1.	Espécimes	46
4.2.	Preparo das amostras.....	46
4.3.	Desafio Cariogênico.....	47
4.4.	Cálculo amostral	48
4.5.	Grupos experimentais.....	49
4.6.	Processamento microbiológico	51
4.7.	Microscopia de varredura (MEV).....	52
4.8.	Análise Estatística.....	53
5.	RESULTADOS.....	54
6.	DISCUSSÃO.....	61
7.	CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS	65
	ANEXO A	71

1. INTRODUÇÃO

A cárie dentária, uma doença crônica generalizada que afeta os seres humanos, é entendida como uma condição disbiótica resultante de um desequilíbrio no processo de desmineralização/remineralização (Abinaya et al. 2020). É uma doença crônica, multifatorial e de alta prevalência, associada à presença de microrganismos acidogênicos como *S. mutans*, dieta rica em açúcares e suscetibilidade do hospedeiro (Frencken & Holmgren, 2014; Tanner et al., 2018; Spatafora et al. 2024). Nas lesões de cárie dentinárias, distinguem-se a dentina infectada, com colágeno desorganizado e alta carga bacteriana, e a dentina afetada, que mantém potencial de remineralização (NG et al., 2024).

A remoção seletiva da dentina cariada busca preservar a vitalidade pulpar, evitando a exposição desnecessária da câmara pulpar e favorecendo o reparo biológico da dentina (Bjorndal et al., 2010; Schwendicke et al., 2017, Li et al., 2018, Desai et al., 2021). Atualmente, métodos de desinfecção da dentina cariada são estudados com o objetivo de evitar a remoção do tecido cariado.

Dessa forma, a Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana (aPDT) tem sido estudada como um método eficaz de desinfecção minimamente invasivo. Essa técnica, associa um fotossensibilizador à luz de comprimento de onda específico, gerando espécies reativas de oxigênio capazes de destruir microrganismos por lise de membrana (Kwiatkowski et al., 2018).

A literatura apresenta diversos protocolos eficazes de aPDT utilizando azul de metileno em concentrações entre 0.005% e 0.01%, ativado por laser vermelho de baixa potência, com significativa redução de microrganismos como *S. mutans* em lesões de cárie dentinárias (Moro et al, 2021; Fernandes et al. 2022; Entezari et al, 2022; Anvekar et al, 2024). Essa técnica também tem aplicação em outras áreas odontológicas, como procedimentos endodonticos, ortodônticos e controle de biofilmes (Pinheiro et al., 2009; Cieplik et al., 2017; Alves et al., 2019; Trindade et al., 2019; Moghissi et al., 2020; Pourhajibagher et al., 2022; Contaldo et al. 2023; Godoy et al., 2023; Gholami et al., 2023; Baghani et al., 2024).

Na prática clínica, a maioria dos dentistas não tem laser em seus consultórios e novos protocolos de aPDT devem ser estudadas para ampliar a sua aplicação em um maior número de pacientes. Com isso, tem-se investigado o uso de fotossensibilizadores e fontes de luz, como os fotopolimerizadores de LED azul

(Ravazzi et al., 2023; Oda et al., 2019). Corantes da classe dos xantenos, como o Rosa de Bengala, têm demonstrado relevante atividade antimicrobiana contra o *S. mutans* quando ativados por fontes de luz azul, expandindo o leque de possibilidades terapêuticas na aPDT (Hirose et al., 2021; Li et al., 2023; Şahin et al., 2024).

Nesse contexto, esse trabalho avaliou a fucsina como fotossensibilizante. Embora seu uso em aPDT é pouco explorado na literatura científica, estudos recentes apontam seu potencial fotodinâmico com fontes de luz azul contra *S. mutans* (Abedin et al., 2025). Trata-se de um corante de baixo custo, já amplamente utilizado na Odontologia como evidenciador de placa bacteriana (Oliveira et al. 2021), o que favorece sua aceitação clínica. Sua absorção na faixa do espectro azul torna viável sua ativação por LED azul utilizado para fotopolimerizar a resina composta pelo dentista, um dispositivo mais acessível e comum na rotina clínica; especialmente em contextos com restrições de recursos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O estudo de Sato, e Fusayama (1976) teve como objetivo comparar a profundidade da dentina cariada corada com solução de fucsina básica a 0,5% em propilenoglicol com a extensão da invasão bacteriana, utilizando dentes humanos extraídos e vitais. A metodologia consistiu na aplicação da solução sobre a dentina cariada e na análise histológica das seções obtidas, além da comparação das imagens radiográficas antes e após a escavação guiada pela coloração. Os resultados mostraram que a escavação baseada na fucsina foi sempre mais profunda do que a área de invasão bacteriana, sendo essa diferença mais acentuada em casos de cárie aguda do que em crônica. Também foi observado que as imagens radiográficas mostravam lesões mais rasas do que as cavidades efetivamente escavadas. Conclui-se que a coloração com fucsina básica é um método clínico confiável para orientar a remoção completa da dentina deteriorada, embora os dentistas devam considerar que a escavação pode ser mais profunda do que o sugerido pelas radiografias.

A pesquisa de Yip et al. (1994) investigou in vitro a especificidade de dois corantes para detecção de cárie (0,5% fucsina básica e 1,0% vermelho ácido) em dentes humanos permanentes e decíduos extraídos. Embora ambos os corantes tenham tingido a dentina cariada, também ocorreram colorações na dentina circumpulpar sã e na junção esmalte-dentina, regiões que apresentaram mineralização inferior à dentina normal, segundo imagens de elétrons retroespalhados. Isso indica que a suscetibilidade à coloração está mais relacionada à menor mineralização do que à presença de lesão cariada. Devido ao potencial carcinogênico e à capacidade de tingir dentina sã, o uso da fucsina básica deve ser evitado, e o vermelho ácido deve ser utilizado com cautela, sendo contraindicado na superfície pulpar de cavidades profundas. O uso desses corantes pode levar à remoção desnecessária de dentina saudável.

Bjørndal et al. (1997) investigaram as alterações clínicas e microbiológicas em lesões cariosas profundas tratadas por escavação em etapas (stepwise excavation) com longos intervalos entre as sessões. Vinte e dois dentes com cárie profunda foram avaliados antes e após a primeira escavação parcial e novamente na reabertura, após 6 a 12 meses. As amostras microbiológicas mostraram redução significativa de microrganismos viáveis, especialmente *Lactobacillus* e *S. mutans*, e clinicamente observou-se formação de dentina reparadora e aumento da dureza da dentina

residual. Concluiu-se que a técnica de escavação em etapas diminui a atividade bacteriana sem risco de exposição pulpar, promovendo condições favoráveis à recuperação pulpar e à preservação da vitalidade dentária em casos de cárie profunda.

Le Goff et al. (1997) avaliaram as bactérias do canal radicular, evidenciando quais são as mais susceptíveis em dentes com polpa necrótica sem lesões de cárie onde coroa e raiz estavam em perfeitas condições, além de analisar a resistência destas bactérias a diferentes antibióticos comumente usados na endodontia. De acordo com a metodologia, foram selecionadas 84 cepas bacterianas, sendo 81% de bactérias anaeróbias, prevalecendo *Bacteroides gracilis*, *Propionibacterium acnes*, *Fusobacterium nucleatum*, *Prevotella buccae* e *Eubacterium lentum*. Com relação à sensibilidade desses microrganismos à amoxicilina, amoxicilina associada a clavulanato e tetraciclina, clindamicina e metronidazol, foi realizada uma análise em 38 cepas isoladas. Foi possível observar uma prevalência de bactérias Gram negativas anaeróbias, conhecidas por serem capazes de resistir a alguns antibióticos. *Porphyromonas* e *Prevotella* se mostraram resistentes à penicilina. Os antibióticos que apresentaram melhor eficácia contra estas bactérias presentes nos canais foram clindamicina e metronidazol, apresentando boa atividade antimicrobiana. Já espécies como *Fusobacterium nucleatum* se mostraram resistentes a tetraciclina, limitando sua ação no tratamento da infecção. Dessa forma, o estudo conclui que o tratamento de infecções endodônticas pode exigir o uso de antibióticos mais específicos para alcançar melhores resultados. Além disso, pode-se pontuar que terapêuticas como a Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana podem ser o tratamento de escolha, justamente pelo fato de não causar resistência microbiana, favorecendo o sucesso do tratamento.

Lima et al (2005) tiveram como objetivo comparar *in vitro* a capacidade de adesão de dois microrganismos probióticos — *Lactobacillus casei Shirota* e *Lactobacillus acidophilus* — a um modelo artificial de cárie dentinária. A pesquisa buscou compreender o comportamento desses lactobacilos em superfícies de dentina afetadas por cárie, considerando que a adesão bacteriana é um fator determinante para a colonização e potencial ação antimicrobiana dos probióticos no ambiente oral. Foram utilizados 30 dentes bovinos, que foram seccionados longitudinalmente e tiveram metade da superfície lingual removida. As amostras foram recobertas com esmalte de unha, exceto em uma área delimitada de 3×5 mm de dentina exposta. Essa área foi submetida à formação de lesão de cárie artificial, promovida por *S.*

mutans, e incubada a 37 °C por 14 dias. Após esse período, os espécimes foram divididos igualmente em dois grupos experimentais: o Grupo A, exposto ao *Lactobacillus acidophilus*, e o Grupo S, exposto ao *Lactobacillus casei Shirota*, ambos cultivados em meio brain heart infusion (BHI) a 37 °C. Depois de 48 horas de incubação, as áreas expostas de dentina foram lavadas com 1 mL de água destilada, e a dentina cariada foi removida e dispersa em 1 mL de solução salina. As amostras de água destilada e dentina foram então diluídas e inoculadas em ágar Rogosa, seletivo para *Lactobacillus*, para quantificação das colônias (CFU/mL). A análise estatística dos resultados foi realizada pelo teste de Mann–Whitney. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa entre os grupos quanto à contagem de lactobacilos nas amostras de água destilada ($P = 0,237$), indicando que ambos os microrganismos apresentaram comportamento semelhante em meio líquido. No entanto, a análise das amostras de dentina cariada revelou que a quantidade de *L. acidophilus* aderida à dentina foi significativamente maior que a de *L. casei Shirota* ($P = 0,047$). Com base nesses achados, o estudo conclui que o *L. acidophilus* apresenta maior capacidade de adesão à dentina com lesão de cárie em comparação ao *L. casei Shirota*, sugerindo que este último possui potencial de adesão inferior. Esses resultados indicam que diferentes espécies de *Lactobacillus* podem interagir de forma distinta com a superfície dentinária cariada, o que pode influenciar sua efetividade como agentes probióticos na prevenção e controle da cárie dentária.

Carvalho et al. (2008) avaliaram, por meio de microscopia confocal de varredura a laser (CLSM), a profundidade de lesões de cárie artificialmente induzidas em dentes decíduos e permanentes, com o objetivo de comparar a suscetibilidade à desmineralização entre ambos. Amostras de dentina foram submetidas a um protocolo de ciclagem de pH para simular o processo cariogênico, e a profundidade das lesões foi medida após coloração com rodamina B. Os resultados mostraram que os dentes decíduos apresentaram lesões significativamente mais profundas do que os permanentes ($p < 0,05$), indicando maior vulnerabilidade da dentina decídua à desmineralização ácida. Concluiu-se que as diferenças estruturais e composticionais entre as dentinas, como menor grau de mineralização e maior permeabilidade tubular nos dentes decíduos, influenciam a progressão da cárie, reforçando a importância de estratégias preventivas específicas para a dentição infantil.

Orhan et al (2008) tiveram por objetivo comparar, do ponto de vista clínico e microbiológico, três técnicas de tratamento de lesões cariosas profundas em molares

decíduos e jovens molares permanentes: tratamento indireto de polpa em uma única sessão (one-visit IPT), tratamento indireto de polpa em duas sessões (two-visit IPT), e escavação completa direta (DCE) — ou seja, remoção total da carie até dentina aparentemente sadia. Na metodologia do estudo, participaram 135 dentes (83 molares decíduos e 52 molares jovens permanentes) com lesão cariosa profunda, que foram randomicamente alocados em um dos três tipos de tratamento. No grupo de two-visit IPT, a escavação final foi realizada após um intervalo de três meses. Em cada caso foram registradas características clínicas da dentina sobre o assoalho da cavidade (cor, consistência, umidade) e coletadas amostras de dentina para investigação microbiológica, verificando unidades formadoras de colônia (UFC) totais, além de quantificação de *S. mutans* e *Lactobacilli*. Nos resultados, observou-se que no grupo one-visit IPT havia crescimento bacteriano em cerca de 63,8 % das amostras de dentina. Já no grupo two-visit IPT, após a escavação inicial, todas as amostras (100 %) apresentaram crescimento bacteriano; após reabertura antes da escavação final, esse número caiu para cerca de 44,4 %; e após a escavação final, apenas 2,2 % das amostras mostraram crescimento bacteriano. No grupo DCE, apenas 25,6 % das amostras revelaram crescimento bacteriano. Em termos clínicos, verificou-se que, no protocolo de duas sessões (two-visit IPT), a dentina ao longo das etapas apresentava mudança de coloração (mais escura), consistência mais rígida e redução da umidade, sinais interpretados como indício de “lesão arrestada” (em que o processo carioso foi contido). Os autores concluíram que, embora nenhuma das técnicas tenha eliminado completamente os microrganismos viáveis na escavação inicial, o protocolo de duas visitas (two-visit IPT) promoveu uma redução dramática da carga bacteriana ao longo das etapas do tratamento, juntamente com alterações clínicas da dentina que sugerem controle da lesão. Considerando esses achados, os autores sugerem que o método em duas etapas pode ser considerado uma abordagem efetiva para lesões cariosas profundas em molares, tanto decíduos quanto jovens permanentes.

O estudo de Pinheiro et al (2008) tiveram como objetivo avaliar, em dentes decíduos com polpa necrosada, o efeito da terapia fotodinâmica (TFD) como complemento à instrumentação químico-mecânica do canal radicular, quantificando as bactérias viáveis antes do tratamento, após a instrumentação e após a utilização da TFD. A escolha do foco em dentes decíduos se justifica pelas dificuldades inerentes a esse tipo de dente — como anatomia complexa, reabsorção radicular fisiológica e limitação de tempo nos atendimentos pediátricos — que tornam a desinfecção

completa do canal mais desafiadora. Em termos metodológicos, foram selecionados dez molares decíduos com polpa necrosada (crianças de 4 a 7 anos) e, após acesso e localização do canal, realizou-se a primeira coleta para cultura microbiológica. Em seguida, foi feita a instrumentação químico-mecânica do canal seguida de nova coleta, e por último aplicou-se a terapia fotodinâmica, com laser de diodo de baixa intensidade (comprimento de onda em torno de 660 nm) associado ao corante sensibilizador azul de toluidina, após o qual foi realizada a terceira coleta. Os resultados foram expressos em redução percentual de bactérias viáveis, além da análise estatística apropriada (teste de Wilcoxon para valores em log10 e Mann-Whitney para percentuais de redução). Os achados demonstraram que a instrumentação química-mecânica por si só promoveu uma redução média de aproximadamente 82,59 % das bactérias viáveis nos canais radiculares. Após a terapia fotodinâmica, a redução total observada aumentou para cerca de 98,37 %, mostrando que a TFD contribuiu com uma melhoria adicional estatisticamente significativa no controle microbiano. Em outras palavras, a adição da terapia fotodinâmica reduziu substancialmente a carga microbiana residual que restava após o tratamento convencional. Na discussão, os autores salientam que embora a instrumentação e irrigação convencionais sejam fundamentais, elas muitas vezes não eliminam completamente os microrganismos em dentes decíduos, principalmente em virtude da anatomia complexa e da presença de bactérias resistentes ou localizadas em túbulos ou áreas de difícil acesso. A terapia fotodinâmica aparece como uma alternativa de baixo trauma, relativamente simples e que não depende de agentes antimicrobianos específicos (evitando risco de resistência) para atuar como adjuvante. Eles destacam que a TFD, ao ativar um corante sensibilizador com luz, gera espécies reativas do oxigênio que provocam lesão letal às bactérias — mecanismo bem estabelecido na literatura de fotossensibilização antibacteriana. Por fim, os autores concluem que, para dentes decíduos com polpa necrosada, a terapia fotodinâmica pode ser recomendada como terapia adjunta à instrumentação, visando melhorar a descontaminação do sistema de canais radiculares. Eles sugerem que essa técnica seja considerada em clínicas pediátricas endodônticas, embora reconheçam limitações — por exemplo, o estudo envolveu apenas dez dentes, não analisou longo-prazo ou desfechos clínicos além da redução bacteriana — e recomendam novos estudos com maiores amostras e acompanhamento clínico para confirmar eficácia e segurança.

Bowen e Koo (2011) analisaram o papel das glucosiltransferases (GTFs) produzidas por *S. mutans* na formação da matriz extracelular dos biofilmes cariogênicos. As GTFs são enzimas responsáveis por converter sacarose em glucanas adesivas, que formam uma matriz pegajosa e favorecem a aderência bacteriana ao esmalte, aumentando a coesão e virulência do biofilme dental. O estudo descreve que o *S. mutans* expressa três GTFs distintas, com funções complementares na síntese de glucanas e na estruturação do biofilme. Essas enzimas podem se ligar diretamente à superfície do esmalte ou a outras bactérias, promovendo acúmulo de placa mesmo quando o *S. mutans* não é predominante. Concluiu-se que as GTFs têm papel central na formação e estabilidade da matriz extracelular e representam alvos terapêuticos promissores para a prevenção e o controle da cárie dentária.

Guglielmi et al. (2011) estudaram o uso clínico da quimioterapia antimicrobiana fotodinâmica para o tratamento de lesões cariosas profundas com a utilização de um laser de baixa potência associado a um fotossensibilizante azul de metileno 0,01%, com a finalidade de estudar os grupos bacterianos reduzidos. A terapia fotodinâmica voltou a ser um assunto de interesse no campo da quimioterapia antimicrobiana demonstrando resultados muito positivos e vantajosos. Dessa forma, foram selecionados 26 dentes. A dentina cariada da parede pulpar foi coletada usando um micropunch estéril. Após isso foi realizada a aplicação do azul de metileno 0,01% por 5 minutos, seguido da irradiação com o laser de baixa potência com comprimento de onda de 660 nm, potência de saída fixa de 100 mW, tempo de exposição de 90 segundos, energia total de 9 J e densidade de energia de 320 J cm². As amostras dentinárias foram inseridas no meio de transporte VMGA III, foram homogeneizadas e seis diluições decimais foram realizadas. Em cada uma delas, 3 alíquotas de 25 µl foram plaqueadas em ágar sangue Brucella (utilizado para avaliar as contagens totais viáveis), ágar Mitis Salivarius suplementado com sacarose a 15% (utilizado para avaliar a quantidade de *S. mutans*) e 0,2 unidades de bacitracina ml⁻¹ (MSSB) e ágar Rogosa SL contendo 0,13% de ácido acético glacial (RSL) (utilizada para avaliar a quantidade de *Lactobacillus spp*). Após a incubação, as unidades de colônias foram contadas e foi calculada a redução entre as amostras. Sendo assim, foi possível observar que houve redução significativa dos três grupos distintos de bactérias, porém não houve diferença estatística de redução entre os microrganismos testados. Evidenciando o potencial antimicrobiano da técnica utilizada.

Tanner et al. (2011) fizeram um estudo com o objetivo de caracterizar a microbiota associada à cárie precoce grave (ECC) e avaliar se a composição microbiana basal ou de acompanhamento está relacionada ao surgimento de novas lesões após o tratamento. Amostras de placa de crianças de 2 a 6 anos foram analisadas por microarray baseado em 16S rRNA e PCR para determinados táxons, com monitoramento das crianças por 12 meses pós-terapia. Comparadas às crianças livres de cárie, espécies associadas à ECC grave incluíram *Slackia exigua*, *S. parasanguinis* e espécies de *Prevotella*; pela PCR, foram identificadas *Bifidobacteriaceae*, *Scardovia wiggiae*, *S. mutans* combinada com bifidobactérias e *S. mutans* com *S. wiggiae*. No acompanhamento, crianças sem novas lesões apresentaram menor detecção de certos táxons, incluindo *S. mutans*, mudança não observada em crianças com novas lesões. Modelagem de mínimos quadrados parciais permitiu separar as crianças em grupos livres de cárie e dois grupos de ECC grave, diferenciados por predominância de fatores bacterianos ou dietéticos. Conclui-se que várias espécies, incluindo *S. wiggiae* e *S. exigua*, estão associadas à ecologia da cárie avançada, que o sucesso do tratamento acompanha mudanças na microbiota, e que a ECC grave é diversa, influenciada tanto por bactérias específicas quanto por dieta.

O estudo de Pacheco et al (2013) tiveram como objetivo comparar as características estruturais e moleculares de lesões de dentina “tipo cárie” induzidas por diferentes modelos artificiais com aquelas de lesões naturais de cárie. Para isso, blocos de dentina oclusal hígida (124 unidades) e blocos de dentina já cariada (47 unidades) foram selecionados. Inicialmente, submeteu-se os blocos hígidos à análise de dureza de superfície (SH1) e então foram alocados em três grupos de indução artificial de lesão (“biológica”, “química” e “in situ”) além de um grupo controle de cárie natural (NCL, natural caries lesions). Nos três primeiros grupos, após indução da lesão, foi novamente medida a dureza de superfície (SH2). Em seguida, os blocos foram seccionados longitudinalmente e submetidos à micro-dureza seccional (CSH), à microscopia eletrônica de varredura (SEM), à espectroscopia Raman (FT-Raman) e à fluorescência por raios X dispersiva por energia (μ EDXRF). Os resultados mostraram que os grupos “biológico” (GB) e “natural” (GNC) apresentaram valores de SH2 (dureza de superfície após indução) mais baixos do que os grupos “químico” (GC) e “in situ” (GIS), indicando maior demineralização/alteração nesses dois primeiros. Na análise de micro-dureza seccional (CSH), não houve diferença significativa entre GB

e GNC, sugerindo que o modelo biológico produziu profundidade de lesão semelhante à das lesões naturais. A microscopia (SEM) revelou que a profundidade da lesão foi estatisticamente similar entre GB e GNC, ambas significativamente maiores do que em GC e GIS. A análise μ EDXRF mostrou valores de cálcio e fósforo similares para GB e GNC, com GNC diferente de GIS. Já a espectroscopia FT-Raman não evidenciou diferenças significativas entre os grupos relativamente aos teores de fosfato, carbonato ou ligações C-H, mas identificou diferença significativa para tipo I de colágeno no grupo GC. Com base nesses achados, os autores concluíram que, dentre os modelos de indução de lesão artificial avaliados, o modelo biológico (que utiliza bactérias para indução de cárie de dentina) foi o que mais se aproximou das características das lesões naturais de dentina em termos de dureza, profundidade, estrutura e composição mineral/orgânica. Isso sugere que, para estudos laboratoriais que visam simular a cárie de dentina humana de forma mais realista, o modelo biológico pode ser preferível aos modelos químicos ou *in situ*. Por outro lado, os modelos químicos e *in situ* apresentaram lesões menos profundas ou com comportamento distinto, o que limita sua comparabilidade com a situação clínica. Esse estudo é relevante porque ajuda a orientar pesquisadores sobre qual modelo experimental pode reproduzir melhor as condições de lesão de dentina encontradas clinicamente, o que é importante para investigações acerca de adesão, remoção de cárie, materiais restauradores e terapias de remineralização.

Frencken & Holmgren (2014) pontuam a importância de tratamentos minimamente invasivos abordando o manejo da cárie dentária através do tratamento restaurador atraumático (ART). Os autores destacam o ART pela sua praticidade e pela preservação de tecido dentário garantindo maiores chances de vitalidade pulpar. Nesta técnica é utilizado curetas para remoção seletiva do tecido cariado, removendo apenas dentina infectada, e o selamento da cavidade com um ionômero de vidro de alta viscosidade. O trabalho evidencia a eficácia desse tratamento pela paralisação da progressão da doença e a acessibilidade deste tratamento para a população, fatores que se assemelham ao objetivo da aPDT desenvolvida neste estudo.

A pesquisa de Santin et al. (2014) teve como objetivo realizar uma revisão sistemática sobre a eficácia da terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT) no biofilme dentário cariogênico, incluindo estudos *in vivo*, *in vitro* e *in situ*. Foram excluídos artigos que não abordassem aPDT, que não envolvessem biofilme cariogênico, que utilizassem microrganismos na fase planctônica ou que fossem revisões. A extração

de dados e a avaliação da qualidade foram realizadas por dois avaliadores de forma independente. De um total de 240 artigos recuperados, apenas 17 atenderam aos critérios de elegibilidade e foram analisados. Observou-se grande variabilidade nas metodologias e nos protocolos de aplicação da aPDT, e dois estudos apresentaram resultados desfavoráveis. Conclui-se que a revisão não permite afirmar conclusivamente sobre a eficácia da aPDT, embora o método mostre-se como uma opção promissora para controle do biofilme dentário cariogênico.

O estudo de Trindade et al (2015) teve como objetivo revisar os resultados de pesquisas sobre o uso da terapia fotodinâmica (aPDT) na endodontia publicadas em periódicos revisados por pares, visando avaliar seu potencial como método de desinfecção do sistema de canais radiculares. Foi realizada uma revisão da literatura na base PubMed, categorizando os dados por tópicos relevantes. Os estudos recentes demonstraram o potencial antimicrobiano da aPDT na endodontia, embora a maioria não tenha comprovado melhora significativa na desinfecção dos canais radiculares quando utilizada como substituto dos métodos convencionais. Entretanto, seu uso como adjuvante às terapias endodônticas convencionais é bem documentado. Os dados indicam a necessidade de ajustes nos protocolos ou novas formulações de fotossensibilizadores para aumentar a previsibilidade e eficácia da aPDT em procedimentos endodônticos.

Calori et al. (2016) analisaram a distribuição e o particionamento de corantes da classe dos xantenos, como fluoresceína, eosina e rosa bengala, em vesículas de dipalmitoilfosfatidilcolina (DPPC), utilizadas como modelo de membrana biológica. O objetivo foi compreender como as propriedades físico-químicas desses corantes influenciam sua interação com sistemas lipídicos, fator essencial para seu desempenho como fotossensibilizadores em aPDT. Por meio de experimentos espectrofotométricos e de modelagem molecular, observou-se que o grau de hidrofobicidade, a carga elétrica e a estrutura molecular determinam o modo e a intensidade de interação com a bicamada lipídica. Corantes mais hidrofóbicos apresentaram maior incorporação à região interna da membrana, enquanto os mais hidrofílicos permaneceram próximos à interface. Esses achados indicam que a afinidade e a localização do fotossensibilizador na membrana afetam diretamente sua eficiência na geração de espécies reativas de oxigênio e, portanto, sua atividade fotodinâmica. Concluiu-se que o uso de vesículas de DPPC constitui um modelo

racional e preditivo para estudar o comportamento de fotossensibilizadores e orientar o desenvolvimento de novos agentes fotodinâmicos mais seletivos e eficazes.

Cieplik et al. (2017) avaliaram a eficácia da aPDT como tratamento coadjuvante em lesões de cárie profundas, analisando estudos in vitro, in vivo e clínicos disponíveis até o período da pesquisa. A revisão destacou que a aPDT, baseada na ativação de um fotossensibilizante azul de metileno, toluidina ou curcumina por uma fonte de luz específica, promove a geração de espécies reativas de oxigênio capazes de eliminar microrganismos cariogênicos residuais sem causar danos aos tecidos dentários. Os resultados mostraram que a aplicação da aPDT após a escavação de cárie reduz significativamente a carga bacteriana em dentina infectada e pode diminuir o risco de recidiva e falhas restauradoras. Embora os estudos apresentem heterogeneidade metodológica, os autores concluíram que a aPDT representa uma abordagem promissora, segura e minimamente invasiva para complementar o tratamento de lesões cariosas profundas, especialmente em associação com o conceito de dentística minimamente invasiva.

Esta revisão de Schwendicke (2017) resumiu as mudanças nas estratégias de remoção de tecido cariado à luz do conhecimento atual sobre a cárie e sua patogênese, oferecendo recomendações clínicas. Conclui-se que a remoção completa de toda a dentina cariada não é mais necessária; em vez disso, o tratamento deve visar a interrupção da atividade da lesão, preservando tecido dentário saudável e a vitalidade pulpar. Para dentes com polpa vital, foram desenvolvidas diversas estratégias: (1) remoção não seletiva (completa), atualmente não recomendada; (2) remoção seletiva até dentina firme, recomendada para lesões rasas ou moderadamente profundas, preservando dentina remineralizável e permitindo restauração duradoura; (3) remoção seletiva até dentina mole, indicada para lesões profundas, deixando dentina macia ou couro próximo à polpa e selada sob restauração; (4) remoção em etapas (stepwise), combinando estratégias e adequada para lesões profundas em adultos. Alternativas incluem o selamento da lesão com resinas (para lesões rasas não cavitadas), coroas de aço inoxidável (Técnica Hall, para lesões cavitadas em molares decíduos) ou abertura e limpeza periódica da lesão (controle de cavidade não restauradora, ainda sem evidência suficiente). Assim, a escolha da estratégia deve ser individualizada, considerando principalmente a profundidade da lesão e o tipo de dente.

Kwiatkowski et al. (2018) abordaram a Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana como um tratamento muito promissor e inovador na paralização de doenças. O estudo evidencia o mecanismo de ação da aPDT, que consiste na utilização de um fotossensibilizante, que quando irradiado por um feixe de luz, libera espécies reativas de oxigênio; e a diversidade de fotossensibilizantes disponíveis, facilitando o acesso aos protocolos desenvolvidos. Além disso, o artigo destaca as diversas aplicabilidades clínicas que a terapia disponibiliza. O estudo é uma revisão abrangente da literatura que aborda as combinações terapêuticas, os mecanismos da aPDT, os possíveis fotossensibilizadores endógenos e exógenos e as fontes de luz utilizadas. Os resultados da revisão revelam as vantagens e limitações da aPDT. Como vantagens tem-se a eficácia do tratamento já descrita na literatura, através da liberação de espécies reativas de oxigênio; e como desafios tem-se a limitação da penetração da luz em lesões muito profundas e a falta de estudos in vivo.

Li T et al (2018) tiveram como objetivo comparar a eficácia da remoção seletiva e não seletiva de cárie por meio de uma meta-análise de ensaios clínicos randomizados. Foram selecionados sete estudos disponíveis nas bases PubMed, EMBASE e Cochrane Library até julho de 2017. A análise estatística utilizou razões de chances (OR) e intervalos de confiança de 95% para avaliar três principais desfechos: exposição pulpar, sintomas pulpare e falhas restauradoras. Os resultados mostraram que a remoção seletiva de cárie apresentou um risco significativamente menor de exposição pulpar ($OR = 0,11$; IC 95%: 0,04–0,30) quando comparada à remoção não seletiva, indicando que preservar parte da dentina afetada pode reduzir a chance de atingir a polpa dentária. Por outro lado, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os dois métodos em relação à presença de sintomas pulpare ($OR = 0,79$; IC 95%: 0,30–2,12) e à taxa de falhas ($OR = 1,40$; IC 95%: 0,69–2,84). Dessa forma, conclui-se que a remoção seletiva de cárie apresenta resultados clínicos semelhantes à técnica não seletiva em termos de sucesso restaurador e manutenção da vitalidade pulpar, com a vantagem de diminuir a probabilidade de exposição da polpa. Os autores destacam, contudo, a necessidade de estudos clínicos randomizados mais amplos e com acompanhamento em longo prazo para confirmar definitivamente esses achados.

O estudo de Oda et al (2019) tiveram como objetivo avaliar duas intervenções na desinfecção de canais radiculares de dentes bovinos: primeiro, verificar se o uso de gel de carbopol melhora a transmissão de luz de um aparelho de cura por LED ao

longo do canal radicular; segundo, avaliar a ação antimicrobiana da combinação de Curcumina + LED, comparada com o protocolo padrão de terapia fotodinâmica (PDT) usando Azul de Metileno + laser de 660 nm. Na metodologia, o estudo foi dividido em três experimentos: Experimento 1: Oito raízes de incisivos bovinos foram preparadas, os canais radiculares foram instrumentados até tamanho 120 e, com um colimador de alumínio de 1,5 mm no óstio, foi irradiado um aparelho de cura por LED ao longo do canal vazio e, posteriormente, com o canal cheio de gel de carbopol. Fotografias padronizadas foram feitas e a intensidade de luz ao longo do canal foi analisada. Experimento 2: Blocos de dentina bovina (terço cervical) foram contaminados com biofilme de *Enterococcus faecalis* (10^9 células/mL) por 21 dias. Os blocos foram tratados nos grupos: controle positivo (sem tratamento), apenas LED, apenas curcumina, curcumina + LED, e PDT padrão (azul de metileno + laser). Após tratamento, usou-se coloração Live/Dead e imagens por microscopia confocal para verificar a viabilidade bacteriana. Experimento 3: Trinta e duas raízes bovinas foram preparadas, contaminadas na dentina, e tratadas nos grupos: controle positivo; PDT padrão; curcumina + LED; e curcumina + gel de carbopol + LED. Depois, as raízes foram seccionadas longitudinalmente e analisadas com coloração e microscopia confocal para viabilidade bacteriana. Nos resultados, o experimento 1 mostrou que o gel de carbopol não melhorou a transmissão da luz do LED ao longo do canal radicular. No experimento 2, verificou-se redução significativa da viabilidade bacteriana em ordem decrescente: controle > apenas LED > apenas curcumina > curcumina + LED \approx PDT padrão. Ou seja, curcumina ativada por LED alcançou eficácia semelhante ao protocolo tradicional com azul de metileno + laser. No experimento 3, os resultados mostraram que o grupo curcumina + LED teve eficácia semelhante ao controle positivo ou inferior, e o acréscimo do gel de carbopol (curcumina + gel + LED) resultou em menor eliminação bacteriana do que a PDT padrão. Na discussão, os autores concluem que a combinação curcumina + LED curing light apresentou eficácia de desinfecção comparável ao protocolo padrão de PDT com azul de metileno + laser. Isso sugere que a curcumina pode ser uma alternativa viável como fotossensibilizador em PDT endodôntica. Todavia, a adição de gel de carbopol não melhorou a eficácia — nem a transmissão da luz nem a eliminação de bactérias — indicando que o gel não favorece este protocolo. Eles também apontam a necessidade de mais investigações para adaptar tais protocolos em contexto clínico de forma segura e eficiente. Em resumo, o estudo demonstra que a

terapia fotodinâmica com curcumina ativada por luz de cura (LED) é promissora para desinfecção de canais radiculares, com desempenho semelhante ao padrão azul de metileno + laser, enquanto a utilização de gel de carbopol não trouxe benefícios adicionais para a transmissão de luz ou ação antimicrobiana.

Pinheiro et al. (2019) estudaram a utilização de ácido fosfórico 37% e corante azul de metileno como fotossensibilizante para aPDT. Foi realizado um desafio cariogênico em 45 terceiros molares durante 15 dias e separados aleatoriamente em 3 grupos de 15 amostras. Um grupo foi realizado a aplicação de ácido fosfórico 37% com azul de metileno, durante 15s outro grupo foi realizado a irradiação de laser de baixa potência com 660nm, 2J/cm² de energia e 5W de potência, e o último grupo foi realizada a aPDT com o ácido fosfórico 37% e azul de metileno com o laser de baixa potência seguindo os mesmos protocolos do segundo grupo. Foi realizada a coleta, diluição e semeadura das amostras e resultou em uma redução significante dos três grupos. Concluiu-se que o ácido fosfórico e corante azul de metileno pode ser utilizado como fotossensibilizante na aPDT para redução de carie dentinária.

Abedin et al. (2020) investigaram o uso de corantes hidrofílicos como fotossensibilizadores na fotopolimerização de adesivos dentários, com o objetivo de aumentar o grau de conversão (DC) da fase hidrofílica sem prejudicar a polimerização da fase hidrofóbica. Foram testados diferentes corantes, como Bromophenol blue, Rose Bengal, Erythrosin B, New Fuchsin e Victoria blue B, analisando-se parâmetros como coeficiente de extinção molar, eficiência de absorção de fôtons e cinética de polimerização. Os resultados mostraram que esses corantes proporcionaram elevado DC em ambas as fases, enquanto corantes como Fluorescein, Eosin Y e Methylene blue apresentaram desempenho inferior. Concluiu-se que a estabilidade do estado excitado e das espécies iniciadoras é determinante para a eficiência da fotopolimerização, e que determinados corantes hidrofílicos podem melhorar significativamente a polimerização da fase hidrofílica, tornando-se potenciais fotossensibilizadores para adesivos compatíveis com ambientes úmidos.

Abinaya et al. (2020) compararam três técnicas minimamente invasivas para remoção de cárie em dentes decíduos desmineralizados: gel de bromelina, smart bur e técnica restauradora atraumática (ART). Trinta dentes foram submetidos à desmineralização artificial e, após o tratamento, avaliou-se a espessura da dentina residual por estereomicroscopia e a microdureza pelo teste de Vickers. Os resultados mostraram que o gel de bromelina e o smart bur removeram a cárie de forma mais

eficiente que o ART, sendo o gel de bromelina o que apresentou microdureza semelhante à dentina hígida, com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,001$). Concluiu-se que a bromelina, enzima derivada do abacaxi, é um agente quimomecânico promissor, eficaz e biologicamente seguro para remoção conservadora da dentina cariada, representando uma alternativa menos traumática em odontopediatria.

Almeida et al. (2020) apresentam a aPDT como uma alternativa promissora para o controle da COVID-19. A técnica utiliza fotossensibilizadores (como azul de metileno e protoporfirina IX), ativados por luz visível, para gerar espécies reativas de oxigênio capazes de destruir estruturas externas de microrganismos, incluindo vírus envelopados como o SARS-CoV-2. O texto destaca que a aPDT possui amplo espectro de ação, baixo risco de resistência microbiana e potencial aplicação clínica e ambiental — como na desinfecção de superfícies, tecidos, ar e águas residuais, além da criação de tecidos e máscaras fotoativas. Os autores concluem que a integração entre pesquisadores e o setor tecnológico pode consolidar a aPDT como ferramenta eficaz e sustentável contra infecções virais emergentes.

Kitanaka et al. (2020) analisaram a eficácia da aPDT em *Porphyromonas gingivalis* utilizando Rosa Bengala e LED amarelo – esverdeado. Foram divididos 8 grupos para analisar o efeito antimicrobiano do rosa bengala + LED amarelo-esverdeado versus rosa bengala + LED azul; cinco grupos para analisar o efeito antimicrobiano com rosa bengala + LED amarelo-esverdeado versus gluconato de clorexidina a 0,2%; e quatro grupos para analisar o efeito antimicrobiano em diferentes tempos de irradiação (0, 10 e 20 s). Os parâmetros utilizados foram: quando irradiado por 10 s, 4,28 J/cm², quando irradiado por 20 s, 8,56 J/cm²; 428 mW/cm² de potência; e as concentrações do rosa bengala utilizadas foram de 0,4, 0,8 e 1,6 µg/mL. Houve redução significativamente maior de *Porphyromonas gingivalis* quando irradiada com o LED amarelo-esverdeado em comparação com a irradiação do LED azul, e o mesmo ocorre quando comparado com o gluconato de clorexidina a 0,2%. Isso porque o comprimento de onda do LED amarelo – esverdeado de 565 nm se aproxima mais do comprimento de onda da rosa bengala de 550 nm quando comparado aos LED azul e vermelho, que apresentam comprimento de onda de 450 e 660 nm respectivamente, essa aproximação dos valores é o que garante maior desinfecção da região aplicada. Dessa forma, pode-se concluir que a Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana realizada com o LED amarelo-esverdeado em associação com o Rosa Bengala garantiu

excelente redução microbiana da região aplicada quando comparada à outra fonte de energia luminosa, evidenciado uma alternativa ao uso de antibióticos e uma nova estratégia para manejo das doenças periodontais.

Moghissi et al (2020) discutem uma proposta inovadora de aplicação da Terapia Fotodinâmica (PDT) no tratamento de infecções respiratórias causadas pela COVID-19, com base na experiência prévia do Yorkshire Laser Centre no uso dessa técnica em pacientes com bronciectasia crônica. Tradicionalmente, a PDT tem sido usada no tratamento de cânceres, mas nas últimas décadas cresceu o interesse em seu potencial antimicrobiano (a-PDT), especialmente diante do aumento da resistência bacteriana a antibióticos. Os pesquisadores desenvolveram uma metodologia que utiliza o Azul de Metileno (Methylene Blue, MB) como fotossensibilizador, ativado por luz de 650–660 nm, aplicado topicalmente nas vias aéreas. A principal inovação é o uso de um nebulizador para administrar o fotossensibilizador, permitindo que o medicamento atinja uniformemente o trato respiratório. A luz necessária para ativar o MB pode ser administrada por meio de um cateter fino através da membrana cricotireóidea ou, em pacientes traqueostomizados, diretamente pela traqueostomia. A equipe considera o MB-PDT seguro e de baixa morbidade, destacando que sua aplicação local evita efeitos sistêmicos significativos. Com base nesses resultados preliminares, os autores sugerem que essa técnica possa ser adaptada para tratar infecções respiratórias causadas pelo coronavírus (SARS-CoV-2). Como o vírus se transmite e causa danos principalmente nas vias respiratórias e pulmões, a aplicação do MB-PDT por nebulização poderia atuar diretamente sobre o vírus e os tecidos infectados. Por fim, o artigo propõe que, diante da escassez de tratamentos eficazes para COVID-19, essa abordagem inovadora merece ser explorada em estudos clínicos, pois poderia levar à destruição do vírus e à melhora do quadro clínico dos pacientes. Os autores concluem que a pandemia oferece uma oportunidade única para testar o potencial terapêutico da PDT em infecções respiratórias virais.

O estudo de Pereira et al (2020) tiveram como objetivo avaliar a eficácia de ácido poliacrílico a 11,5 % contendo 0,3 % de azul de metileno como um agente sensibilizador para terapia fotodinâmica (PDT) aplicada à dentina cariada, com o intuito de reduzir a carga de *S. mutans*. Para isso, foram selecionados 120 molares cujas dentinas foram expostas a desafio cariogênico: os dentes foram incubados em meio de cultura contendo a cepa padrão de *S. mutans* (ATCC). Após esse preparo,

as amostras foram divididas aleatoriamente em oito grupos de 15 unidades cada: salina (controle), ácido poliacrílico (PA), azul de metileno (MB) 0,3 %, combinação PA+MB, apenas laser (LLL), PDT (MB), PDT (PA), e PDT (PA+MB). Em cada grupo, a dentina cariosa foi coletada antes e após o tratamento para mensurar a quantidade de *S. mutans*. As amostras foram homogeneizadas, diluídas e semeadas em meio mitis salivarius com bacitracina, incubadas em anaerobiose por 15 dias a 37 °C. Os resultados mostraram que a redução percentual média de *S. mutans* variou entre os grupos: o grupo PDT (MB) reduziu aproximadamente 53,62 % da carga bacteriana; o grupo PDT (PA+MB) reduziu ~50,47 %; PDT (PA) reduziu ~46,73 %; PA sozinho ~38,51 %; MB sozinho ~19,75 %; PA+MB (sem laser) ~17,18 %; LLL (laser sozinho) ~12,83 %; e salina (controle) ~5,99 %. As reduções estatisticamente significativas foram observadas nos grupos PDT (MB), PDT (PA+MB) e PDT (PA) quando comparados ao controle (salina), com valores $p = 0,0002$; $0,0023$; e $0,0232$, respectivamente. Na discussão, os autores sugerem que o ácido poliacrílico contendo azul de metileno pode funcionar como sensibilizador eficaz para terapia fotodinâmica na dentina cariada, e que a combinação de sensibilizador + laser (PDT) demonstrou melhores resultados que sensibilizador ou laser isoladamente. Eles destacam que, embora não tenha eliminado totalmente *S. mutans*, a redução obtida representa um avanço no controle microbiano em lesões de dentina, o que pode ter implicações para terapias de preservação dental e tratamentos menos invasivos. O trabalho reconhece limitações inerentes (como a condição *in vitro*, uso de dentes humanos extraídos, ambiente controlado) e sugere mais estudos clínicos para avaliar a aplicabilidade e eficiência em situações reais.

Desai et al. (2021) apresentaram uma revisão sobre as terapias minimamente invasivas para o manejo da cárie dentária, enfatizando a transição do modelo cirúrgico tradicional para uma abordagem biológica e conservadora dos tecidos dentários. A revisão abordou métodos baseados na detecção precoce da cárie, no controle do biofilme e em técnicas que preservam a estrutura dental saudável, como a remoção seletiva da dentina cariada, o uso de selantes, agentes remineralizantes e biomateriais bioativos, além da aPDT e do laser como adjuvantes de desinfecção. Os autores destacaram que essas estratégias reduzem o risco de exposição pulpar, promovem a manutenção da vitalidade dentária e aumentam a longevidade das restaurações. Concluiu-se que o manejo minimamente invasivo deve ser o padrão contemporâneo

no tratamento da cárie, integrando tecnologias preventivas e terapêuticas para alcançar resultados mais biológicos, duradouros e centrados no paciente.

Galdino et al. (2021) estudaram sobre a otimização fotodinâmica em combinações de corantes xantenos em diferentes formas de *S. mutans*. Sabe-se que a aPDT apresenta alto potencial de destruição bacteriano causada pela liberação de espécies reativas de oxigênio. No caso dos corantes xantenos, como Eritrosina e Rosa de Bengala, eles apresentam alto rendimento de oxigênio singlete apresentando capacidade bactericida muito importante quando irradiados por LED azul portátil. Como método, os autores cultivaram uma cepa padrão de *S. mutans* em caldo BHI com 1% de sacarose onde as amostras ficaram submersas. Os espécimes foram divididos em 3 grupo distintos: 1- Grupo controle; 2- Rosa de Bengala + Eritrosina + LED (grupo PDT combinado); 3- Rosa de Bengala + LED/ Eritrosina + LED (grupo PDT isolado) (n=6). A irradiação com o LED foi realizada por 40 segundos, 24 J de energia, 48 J/cm² de densidade de energia, 1200 mW/cm³ de potência e 440-480 nm de comprimento de onda. As concentrações utilizadas dos corantes foi de 1 µM para RB e 3,5 µM para ER. Após isso, as amostras foram submetidas a diluições seriadas com alíquotas de 25 µL em placas de ágar sangue em triplicata e incubadas a 37° C. Após 48 h foi realizada a contagem de bactérias viáveis (UFC/ml). Como resultados, eles obtiveram uma fotoerradicação total no grupo da aPDT combinado quando comparado ao grupo controle evidenciando o potencial antimicrobiano fotodinâmico; e de forma isolada (ER + LED e RB + LED) resultaram em grande redução microbiana, atestando seu potencial isoladamente. Sendo assim, pode-se concluir que a associação dos corantes xantenos garante alto índice de redução bacteriana, sendo um ótimo tratamento para lesões cariosas.

Gonçalves et al. (2021) estudaram a eritrosina, corante xanteno, como fotossensibilizador para aPDT com diodos emissores de luz azul (LED), com objetivo de avaliar a absorbância, o pH e viabilidade celular deste corante contra *Candida albicans* quando irradiada com o LED azul. Para os testes de pH e absorbância, o corante foi utilizado na concentração de 0,03/ml. No ensaio microbiológico foi inserida uma cepa padrão de *Candida albicans* em suspensões. Estas foram divididas nos seguintes grupos (n=4): 1- controle sem irradiação ou fotossensibilizador (C), 2- grupo irradiado sem fotossensibilizador (L), 3- grupo fotossensibilizador sem irradiação (0) e 4- grupos que receberam fotossensibilizador e irradiação, denominados grupos aPDT. Após isso, foram realizadas diluições decimais das amostras, seguida da semeadura

das mesmas em placas de Petri com ágar Sabouraud e incubadas em estufa bacteriológica a 37° C por 24-28 horas. E, finalmente, foi realizada a contagem de colônias (UFC/ml). Com relação a fonte de energia luminosa LED, os parâmetros utilizados foram 470 nm de comprimento de onda, 1000 mW de potência, exposição radiante de 0 a 63,8 J/cm² e tempo de irradiação variando de 0 a 120 segundos. De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar que a eritrosina apresentou estabilidade de pH e absorbância de luz azul (520 nm), e com relação ao ensaio microbiológico, os grupos aPDT apresentaram redução microbiana após 60 e 90 segundos de irradiação e quando irradiados por 120 segundos apresentaram redução ainda mais significativa. Desta forma, conclui-se que a associação da eritrosina com o LED azul na desinfecção de colônias de *Candida albicans* é muito promissora e apresenta resultados muito positivos na redução microbiana, combatendo essa infecção.

Hirose et al. (2021) avaliaram a eficácia da aPDT com Rosa Bengala e luz azul contra bactérias cariogênicas. Como fonte de luz foi utilizado o LED azul (comprimento de onda de 450-470, tempo de irradiação de 1 minuto, densidade de potência de 3700-4000 mW/cm³), e o Rosa Bengala utilizado foi nas concentrações de 0,1 µg/mL, 1 µg/mL, 10 µg/mL e 100 µg/mL. *S. sobrinus*, *S. mutans* e *S. sanguinis* foram cultivados anaerobicamente a 37° C em caldo de BHI por 12 horas. As suspensões bacterianas foram preparadas em tubetes estéreis onde foi adicionado 50 µL de solução de Rosa Bengala de diferentes concentrações; estes tubetes foram incubados durante 5 minutos no escuro e posteriormente, irradiados por 1 minuto com o LED azul. Imediatamente após isso, a solução foi diluída e semeada para determinação dos valores de UFC. Além disso, 10 voluntários foram selecionados para coleta de saliva e placa. Estes foram orientados a não realizar nenhuma atividade oral nas 3 horas antes da coleta. As bactérias cariogênicas presentes foram introduzidas em soluções de RTF em tubos e utilizadas para avaliação do tratamento com a aPDT com o mesmo protocolo já citado anteriormente. Como resultados, foi possível observar o efeito antimicrobiano da terapia aplicada sobre as bactérias planctônicas. Esta redução também ocorreu nas bactérias presentes na saliva coletada. Estes fatores evidenciam que a aPDT realmente é uma abordagem útil para controle e tratamento de lesões cariosas.

O estudo de Moro et al (2021) tiveram como objetivo avaliar a eficácia da aplicação de cetrimida 2% sozinha ou combinada com terapia fotodinâmica (PDT)

para reduzir a carga de *S. mutans* em lesões de cárie dentinária. O *S. mutans* é uma bactéria chave envolvida no desenvolvimento de cárries, e a ideia era verificar se a associação da PDT poderia aumentar o efeito antimicrobiano do tratamento convencional. Na metodologia, foram selecionadas lesões de cárie em dentes permanentes, as quais foram tratadas com cetrimida 2% ou com cetrimida seguida de PDT. A terapia fotodinâmica envolvia o uso de um fotossensibilizador seguido da ativação por luz adequada, com o intuito de gerar espécies reativas de oxigênio que inativaram os microrganismos. As amostras foram avaliadas microbiologicamente para determinar a quantidade de *S. mutans* antes e depois do tratamento. Os resultados mostraram que tanto a cetrimida sozinha quanto a combinação com PDT apresentaram redução significativa da carga de *S. mutans*. No entanto, a combinação com PDT alcançou uma redução maior em comparação ao uso apenas de cetrimida, sugerindo que a adição da terapia fotodinâmica pode potencializar a eficácia antimicrobiana em lesões de cárie. Os autores discutem que a PDT, aliada a agentes químicos como a cetrimida, representa uma estratégia promissora para intervenção em cárries, sobretudo em casos difíceis ou recorrentes. Eles apontam como vantagem o fato de a PDT poder agir localmente, com potencial de menor resistência microbiana em comparação a antibióticos convencionais. Em conclusão, o estudo apoia a hipótese de que a terapia fotodinâmica pode ser um complemento eficaz ao tratamento químico em lesões de cárie, reduzindo carga de *S. mutans* de modo mais eficaz. Os autores sugerem que novos estudos clínicos com longo prazo e maior número de participantes sejam realizados para validar a aplicação dessa combinação terapêutica em rotina odontológica.

O artigo de Oliveira et al (2021) teve como objetivo investigar se o uso de métodos de revelação de placa bacteriana — substâncias que evidenciam as áreas onde ainda há acúmulo de biofilme — pode melhorar o controle da placa realizado pelo próprio paciente quando associado às instruções tradicionais de higiene oral. Os autores buscaram compreender se essas técnicas, aplicadas tanto por profissionais quanto pelos próprios pacientes em casa, poderiam resultar em uma remoção mais eficaz da placa e em melhor saúde gengival. Para isso, os pesquisadores realizaram uma revisão sistemática abrangente em sete bases de dados, incluindo apenas ensaios clínicos randomizados que compararam instruções de higiene oral convencionais com instruções acrescidas do uso de reveladores de placa. A busca não teve restrição de idioma ou data, e os estudos selecionados foram avaliados

quanto ao risco de viés pela ferramenta Cochrane “Risk of Bias 2.0”. Como houve grande diversidade entre os protocolos, métodos e medidas de desfecho utilizados nos trabalhos incluídos, os resultados foram analisados de forma narrativa, e não por meio de uma metanálise. No total, sete estudos preencheram os critérios de inclusão, envolvendo 430 participantes, sendo que 159 deles utilizavam aparelhos ortodônticos. Os resultados mostraram considerável heterogeneidade entre os ensaios e, de modo geral, não foi observada diferença estatisticamente significativa na quantidade de placa removida entre os grupos que receberam apenas instruções de higiene oral e aqueles que também usaram reveladores de placa. No entanto, em relação à inflamação gengival, alguns estudos apontaram benefícios adicionais com o uso dos reveladores, principalmente entre pacientes ortodônticos, nos quais três das quatro comparações realizadas indicaram melhora significativa nos índices de gengivite. Dessa forma, os autores concluíram que os métodos de revelação de placa podem ser uma ferramenta útil especialmente para indivíduos com aparelho ortodôntico, pois auxiliam na visualização e na remoção mais eficaz das áreas com acúmulo de biofilme, contribuindo para a redução da inflamação gengival. Para pacientes sem aparelhos, o uso desses métodos pode ser considerado uma opção complementar, mas as evidências atuais ainda são insuficientes para afirmar que eles melhorem de forma significativa o controle de placa em comparação com as instruções convencionais. Os pesquisadores ressaltam que são necessários novos estudos bem desenhados, com maior número de participantes e acompanhamento de longo prazo, para confirmar a efetividade desses recursos e determinar em quais contextos clínicos seu uso é realmente vantajoso.

Entezari et al. (2022) estudaram o efeito da Terapia Fotodinâmica com fotossensibilizadores de curcumina e azul de metileno (MB) em *S. aureus*. Os autores utilizaram laser de diodo de 660 nm e laser azul de 445 nm como fonte de energia luminosa, e com relação as concentrações dos fotossensibilizadores utilizados tem-se 10,2% da curcumina e 0,02% do azul de metileno. Sendo assim, foram selecionadas 99 amostras, que foram divididas, de forma randomizada, em 9 grupos (n=11): 1- Laser de diodo com comprimento de onda de 660 nm e potência de 100 mW para fotossensibilizador de 60s + MB e *S. aureus*; 2- Laser de diodo com comprimento de onda de 660 nm e potência de 100 mW para fotossensibilizador de 100 s + MB e *S. aureus*; 3- Laser azul com comprimento de onda de 445nm e potência de 200mW para fotossensibilizador de 40s + curcumina e *S. aureus*; 4- Laser azul com

comprimento de onda de 445nm e potência de 200mW para fotossensibilizador de 25s + curcumina e *S. aureus*; 5- MB com *S. aureus* sem irradiação do laser; 6- Curcumina com *S. aureus* sem irradiação laser; 7- Meio de cultura com *S. aureus* e CHX; 8- Meio de cultura puro sem *S. aureus* (grupo de controle negativo); 9- Meio de cultura puro com *S. aureus*, mas sem fotossensibilizador ou laser (grupo de controle positivo). Dessa forma, foi possível observar que o laser de diodo com comprimento de onda de 660nm por 100 s com fotossensibilizador MB foi o mais eficaz na eliminação de colônias de *S. aureus*, enquanto o grupo curcumina sem irradiação a laser foi o menos eficaz. Pode-se concluir que, a irradiação a laser com comprimentos de onda de 660nm e 445nm, juntamente com os fotossensibilizadores MB e curcumina, diminuiu a contagem bacteriana e sua eficácia antibacteriana melhorou com o aumento da duração da irradiação do laser, de modo que a irradiação do laser de 660nm por 100s com MB teve eficácia máxima para eliminação de S.A.

Fernandes et al. (2022) avaliaram o EDTA associado a aPDT na redução de *S. mutans* em dentina cariada. Para isso foi utilizado o azul de metileno 0,01% como fotossensibilizante e laser vermelho (comprimento de onda de 660 nm, energia de 4 J, potência de 100 mW, tamanho do ponto de 0,028 cm², densidade de energia de 142 J/cm² por 40 s). Desse forma, foram selecionados 60 terceiros molares, que foram impermeabilizados e submetidos ao desafio cariogênico em meio de sobrevivência BHI suplementado com 1% de glicose, 1% de sacarose e 0,5% de extrato de levedura e uma cepa padrão de *S. mutans* (ATCC 25175). As amostras foram divididas em 6 grupos distintos (n=10): 1- controle - coleta de cárie; 2- EDTA - 17% EDTA foi aplicadoativamente com um microbrush por 1 min; 3- aPDT - terapia fotodinâmica antimicrobiana com fotossensibilizador azul de metileno a 0,01%, nos parâmetros já citados a cima; 4- EDTA + aPDT - 17% EDTA aplicadoativamente por 1 min mais aPDT; 5- (EDTA+PT) + L - aplicação de EDTA combinado com fotossensibilizador mais irradiação laser; e 6- TP - fotossensibilizador isolado. Após o protocolo de desinfecção realizado em cada grupo, foi realizada a coleta da lesão cariosa e cada uma das diluições decimais foi submetida a semeadura em placas para futura contagem de colônias bacterianas. Como resultado, foi possível observar uma redução significativa de *S. mutans* após aPDT, EDTA+aPDT e (EDTA+PT) + L; o percentual de redução em ordem crescente foi: EDTA: 1,65%; PT: 15,51%; aPDT: 38,28%; EDTA+aPDT: 75,24%; e (EDTA+PT) + L: 97,35%. Sendo assim, pode-se

concluir que a utilização do EDTA 17% antes da fotossensibilização aumentou o efeito antimicrobiano da aPDT na dentina cariada.

O estudo de Pourhajibagher et al. (2022) utilizou nanopartículas de emodin-chitosan associado com laser azul de baixa potência na aPDT para redução bacteriana de *S. mutans* na superfície do esmalte. Emodin-chitosan foi sintetizado e caracterizado e foi avaliado a absorção de nanopartículas e produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), em seguida foi avaliada a ação anibacteriana do laser de baixa potência azul e a produção de ácido lático, os níveis de DNA e eDNA e a expressão do gene *gtfB* na formação de biofilme. Esse estudo resultou na redução dos níveis de DNA na formação de biofilme bacteriano, aumento na geração de ROS e redução na produção de ácido lático, concluindo que nanopartículas emodin-chitosan podem inibir a formação de biofilme bacteriano e, quando associadas a aPDT, podem gerar muito ROS e assim causar a desinfecção do esmalte dentário.

Contaldo et al. (2023) revisaram as novas estratégias terapêuticas para o tratamento da candidíase oral, abordando desde antifúngicos convencionais até abordagens alternativas, como fitoterápicos, probióticos e aPDT. A revisão destacou que o aumento da resistência de *Candida spp.* aos antifúngicos tradicionais, especialmente ao fluconazol, reforça a necessidade de terapias complementares eficazes e seguras. Evidências apontam que compostos naturais, como óleos essenciais e extratos vegetais, apresentam atividade antifúngica relevante, enquanto o uso de probióticos pode ajudar a restaurar o equilíbrio da microbiota oral e reduzir recidivas. A aPDT foi destacada como uma das abordagens mais promissoras, por gerar espécies reativas de oxigênio capazes de destruir células fúngicas sem induzir resistência e com mínimos efeitos adversos. Concluiu-se que a integração dessas terapias inovadoras, isoladas ou em associação com antifúngicos convencionais, representa um avanço significativo no manejo da candidíase oral, com potencial para protocolos clínicos mais individualizados e eficazes.

Gholami et al. (2023) abordaram as diferentes aplicações clínicas da Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana (aPDT) na odontologia, com o objetivo de analisar a eficácia da terapia em diferentes contextos. Como metodologia, os autores adotaram uma revisão sistemática da literatura. Foi realizada uma busca nas bases de dados PubMed (Medline), Web of Science, Scopus e Embase com pesquisas até setembro de 2022, com as seguintes palavras-chaves: "aPDT", "terapia fotodinâmica antimicrobiana", "terapia fotodinâmica antibacteriana", "dent", "oral", "viral", "bactéria",

"fungo", "periodontite". Apenas ensaios clínicos randomizados foram incluídos para extração de dados. Diante disso, os artigos indicam que a aPDT tem mostrado eficácia significativa no controle de infecções bucais, principalmente com relação a periodontites, tratamento endodônticos, cáries e infecções de tecidos moles e feridas orais. Dessa forma, pode-se concluir que a aPDT é uma abordagem promissora no controle destas infecções podendo se tornar uma ferramenta aos tratamentos odontológicos, pois apresenta como vantagem a redução da resistência bacteriana, é eficaz contra uma ampla gama de patógenos não envolvendo o uso de antibióticos.

Godoy et al. (2023) avaliaram a eficácia da Terapia Fotodinâmica Antimicrobiana na eliminação de *Enterococcus faecalis* de túbulos dentinários através da microscopia confocal de varredura a laser. Para isso foram utilizados 34 pré-molares inferiores humanos que foram padronizados com diâmetros anatômicos de 20 mm usando uma lima K # 20. Os espécimes foram contaminados em um período de 21 dias e divididos em 3 grupos experimentais (n=10): o grupo PDT (canais instrumentados e PDT), o grupo de irrigação ultrassônica passiva (PUI) (canais instrumentados e PUI) e o grupo PUI-PDT (canais instrumentados, PUI e PDT), juntamente com um grupo controle (n = 4) (canais não instrumentados). Os canais dos grupos em que foram realizados protocolos de desinfecção foram instrumentados com ProTaper Next até X3 e enxaguados com EDTA e hipoclorito de sódio. Foi selecionado o azul de metileno 0,01% como fotossensibilizador aplicado por 5 minutos e laser de diodo com energia de 4 J e comprimento de onda de 660 nm. Após isso, foram realizados cortes a 5 mm do ápice de todas as amostras analisadas na microscopia confocal de varredura a laser. Dessa forma, os autores obtiveram como resultado, uma diminuição na porcentagem de bactérias viáveis no grupo PUI – PDT, com diferença estatística quando comparado com o grupo controle e PDT; e não houve diferença estatística na porcentagem entre PUI – PDT e PUI. Sendo assim, pode-se concluir que a associação dos métodos foi muito mais eficaz na desinfecção dos canais em comparação com grupo controle e PDT isolada.

Li Y. et al (2023) abordam o papel da terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT) no combate aos biofilmes orais, estruturas complexas associadas a diversas doenças infecciosas, como cárie dentária, periodontite, peri-implantite e infecções endodônticas. Esses biofilmes possuem fatores de virulência — como a matriz extracelular (EPS), o quorum sensing e as interações entre múltiplas espécies — que conferem resistência às terapias antimicrobianas tradicionais, tornando o controle

dessas infecções um desafio constante na odontologia. A revisão destaca que a aPDT é uma abordagem promissora baseada na ativação de um fotossensibilizador por uma fonte de luz, gerando espécies reativas de oxigênio (ROS) capazes de destruir microrganismos e degradar a matriz do biofilme. O artigo descreve os mecanismos de ação da aPDT (reações dos tipos I, II, III e IV), evidenciando como esses processos levam à lise celular, danos no DNA e desorganização do biofilme. Além disso, o texto analisa estudos que demonstram a eficácia da aPDT em diferentes contextos clínicos, como na redução de *Streptococcus mutans* em lesões de cárie e no controle de biofilmes periodontais e peri-implantares, especialmente quando utilizada como complemento a terapias convencionais. Os autores ressaltam, contudo, que há grande variação entre os estudos revisados — quanto ao tipo de fotossensibilizador, comprimento de onda, tempo de irradiação e condições experimentais — o que dificulta a padronização de protocolos e a comparação direta dos resultados. Além disso, a maioria das pesquisas ainda é realizada *in vitro*, o que limita a extrapolação dos dados para situações clínicas reais. Em conclusão, o artigo reconhece que a aPDT apresenta vantagens significativas, como baixa toxicidade, ausência de resistência microbiana e potencial para uso adjuvante em diferentes áreas da odontologia. No entanto, sua aplicação clínica ampla depende da padronização dos parâmetros de tratamento, do desenvolvimento de novos fotossensibilizadores mais seletivos e de estudos clínicos de longo prazo que comprovem sua eficácia e segurança em ambiente oral.

Manphibool et al (2023) avaliaram a eficácia de uma escova dental com luz LED azul na redução de placa dentária e inflamação gengival em pacientes com aparelhos ortodônticos fixos. O estudo, conduzido como um ensaio clínico randomizado cruzado com 24 participantes, comparou o uso da escova LED com uma escova manual comum durante períodos alternados de 28 dias. Foram analisados os índices de placa (PI) e gengivite (GI) em superfícies com e sem brackets, além da satisfação dos pacientes. Paralelamente, ensaios *in vitro* avaliaram o efeito da luz LED sobre biofilmes de *S. mutans*. Os resultados mostraram que, clinicamente, não houve diferença significativa entre as duas escovas na redução de placa e inflamação gengival, embora a escova manual tenha apresentado melhor desempenho nas áreas próximas aos brackets. Em contrapartida, *in vitro*, a luz LED reduziu significativamente a viabilidade bacteriana de *S. mutans* após curtos períodos de exposição (15 a 120 s). Concluiu-se que, apesar do potencial antimicrobiano da luz azul demonstrado em

laboratório, a escova com LED não proporcionou benefício clínico superior em pacientes ortodônticos, possivelmente devido à limitação de penetração da luz nas áreas ao redor dos brackets e ao design das cerdas da escova.

Ravazzi et al. (2023) avaliaram o uso de curcumina ativada por nanotecnologia e led azul na aPDT para desinfecção dos canais de raízes de dentes utilizando quarenta dentes unirradiculares extraídos com diferentes microrganismos. Foram separados em quatro grupos de dez amostras, sendo grupo controle, grupo curcumina sozinha, grupo led sozinho e grupo aPDT, resultando em redução significante de todos os microrganismos, sendo a maior redução do grupo aPDT, concluindo que podemos utilizar a curcumina com nanotecnologia ativada associada ao led azul para desinfecção dos canais das raízes dos dentes.

Anvekar et al. (2024) avaliaram a eficácia da aPDT com corante azul de metileno associado a laser de diodo 660 nm na desinfecção de cavidades em molares decíduos tratados pelo método restaurador atraumático (ART). Participaram 15 crianças (5–12 anos), das quais foram coletadas amostras dentinárias antes da escavação, após a escavação manual e após a aplicação da aPDT. A contagem bacteriana foi reduzida em 87,17% após a escavação e em 98,59% após a fotodesinfecção, com diferença estatisticamente significativa ($p < 0,005$). Concluiu-se que a escavação manual não elimina totalmente os microrganismos, mas o uso do azul de metileno ativado por laser 660 nm é um método eficaz, seguro e bem aceito em odontopediatria para reduzir bactérias residuais e prevenir recidiva de cárie, tornando-se uma alternativa promissora de desinfecção antimicrobiana de cavidades.

Baghani et al. (2024) avaliaram a aPDT associada ao azul de metileno no controle do biofilme de *S. mutans* e *Lactobacillus acidophilus* em comparação com a clorexidina 2% e o laser isolado. As amostras de dentina foram contaminadas in vitro e tratadas conforme os grupos experimentais. Os resultados mostraram que a aPDT reduziu significativamente o número de colônias bacterianas, sendo tão eficaz quanto a clorexidina e superior ao laser isolado ($p < 0,05$). Concluiu-se que a associação do azul de metileno com o laser de diodo apresenta ação antimicrobiana potente e seletiva, configurando uma alternativa promissora para desinfecção dentinária minimamente invasiva, com potencial de aplicação clínica em odontologia restauradora e preventiva.

O estudo de Ng et al (2024) tiveram como objetivo investigar o uso de imagens no infravermelho de comprimento de onda curto (SWIR, short-wavelength infrared)

para diferenciar tecidos dentários saudáveis, desmineralizados ou afetados por cárie. Os autores selecionaram secções de dentes extraídos com lesões de dentina, as quais foram submetidas a várias modalidades de imagem — tomografia micro-CT para densidade mineral, tomografia de coerência óptica (OCT) e medições de refletância e fluorescência nos comprimentos de onda visível, próximo-infravermelho e SWIR. Durante a metodologia, foram preparadas seções de 3 mm de espessura de dentes com lesão que ultrapassava a junção esmalte-dentina (DEJ). Em cada seção, foram identificadas localizações correspondentes a: esmalte saudável, esmalte desmineralizado, dentina saudável, dentina desmineralizada e dentina afetada (com manchas, mas menos mineralmente degradada). Essas áreas foram correlacionadas com imagens de microCT para densidade mineral. Foram realizadas medições de refletância em faixas de 400–700 nm, 850 nm e 1300–1750 nm (SWIR) com câmeras específicas, além de imagens de fluorescência sob excitação de 480 nm (fluorescência verde) e 620 nm (fluorescência vermelha/porfirinas). A profundidade e qualidade da imagem foram correlacionadas com a densidade mineral e o estado de lesão. Nos resultados, as medições de refletância e fluorescência mostraram diferenças estatisticamente significativas entre os tecidos saudáveis, desmineralizados e afetados. Em especial, a faixa SWIR (1300-1750 nm) mostrou potencial para distinguir lesões de dentina, devido à sua menor absorção por água/tissue e maior sensibilidade a perdas de mineral. O uso combinado de microCT, OCT e essas medições ópticas permitiu caracterizar com mais precisão regiões de lesão que tradicionalmente são difíceis de avaliar. Na discussão, os autores destacam que a detecção precoce e precisa de lesões de dentina é crítica para a intervenção odontológica e que métodos tradicionais visuais ou radiográficos têm limitações. A vantagem da imagem SWIR reside na capacidade de penetrar mais profundamente no tecido dentário e reduzir artefatos de escurecimento superficial. Eles sugerem que, com desenvolvimento adicional, a técnica poderia ser adaptada para uso clínico e permitir melhor diagnóstico conservador de cáries. Por fim, o estudo conclui que a combinação de técnicas de imagem óptica avançadas (fluorescência, refletância, OCT) com SWIR oferece promissora nova via para a caracterização de cáries na dentina. Eles recomendam estudos futuros com maior número de amostras, modos de imagem *in vivo* e análise longitudinal para validar a aplicação clínica dessa abordagem.

Şahin et al. (2024) pesquisaram sobre os efeitos de diferentes fotossensibilizadores (Toluidina Azul, Azul de Metileno, Ftalocianina e 2-mercaptopiridina-substituída ftalocianina de zinco, TM-ZnPc) utilizados em terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT) sobre a descoloração dentária. Foram utilizados setenta e cinco incisivos com canal radicular único, em que uma área padronizada da coroa foi definida para avaliação. As amostras foram divididas em cinco grupos (controle negativo, MB, TM, Pc e TM-ZnPc) e submetidas à fotoativação com luz LED, com medições de cor realizadas até 90 dias. Os dados foram convertidos em valores Lab* do sistema CIE Lab* e calculados os ΔE, com análise estatística via ANOVA bicaudal e teste de Tukey ($p < 0,05$). Os resultados mostraram que, nos dias 7 e 30, TM-ZnPc e Pc causaram menor descoloração comparados a MB e TB, embora TM-ZnPc tenha provocado mais descoloração que Pc ($p < 0,05$). Comparado ao baseline, MB e TM-ZnPc causaram maior descoloração aos 30 dias e TB aos 90 dias ($p < 0,05$), enquanto Pc não apresentou diferença significativa ao longo do tempo ($p > 0,05$). Conclui-se que todos os fotossensibilizadores causam coloração dentária clinicamente perceptível, sendo TB e MB os mais intensos em determinados períodos, enquanto Pc e TM-ZnPc apresentaram níveis de coloração mais estáveis, sugerindo maior confiabilidade em aplicações de aPDT e destacando a importância da escolha do fotossensibilizador para minimizar a descoloração dentária.

O trabalho de Spatafora et al. (2024) diz que a cárie dentária é um problema significativo de saúde bucal e pública, especialmente em populações de baixa renda, com risco aumentado associado ao consumo frequente de carboidratos, incluindo açúcares, que elevam a acidez e desequilibram a microbiota oral saudável. A produção excessiva de ácido leva à desmineralização dentária e à formação de cavidades, envolvendo espécies altamente ácidas e tolerantes ao ácido, como *S. mutans*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Bifidobacterium* e *Scardovia*. A composição da microbiota varia conforme o sítio dentário, extensão da lesão e progressão da doença. Estudos de metagenômica e metatranscriptômica permitem compreender não apenas a estrutura e o potencial genético da microbiota associada à cárie, mas também o perfil genético das bactérias metabolicamente ativas nas lesões. Devido à sua natureza multifatorial, a prevenção da cárie é complexa. Embora o flúor tópico reduza significativamente a incidência de cárries, seu uso é custoso e menos eficaz em indivíduos de alto risco, especialmente crianças. Novas estratégias de tratamento, como o uso de nanopartículas para atuar especificamente sobre *S. mutans* e outras

bactérias acidogênicas, mostram-se promissoras na modificação da microbiota cariogênica e no combate à doença.

Carti et al. (2025) investigaram o efeito de diferentes agentes remineralizantes na resistência de união ao esmalte artificialmente cariado, utilizando um protocolo de ciclagem de desmineralização e remineralização de 14 dias. Amostras de esmalte humano foram tratadas com diversos agentes incluindo fluoreto de sódio, hidroxiapatita nanoestruturada, fosfato de cálcio amorfo e caseína fosfopeptídeo-fosfato de cálcio amorfo (CPP-ACP) antes da aplicação do sistema adesivo. Os resultados mostraram que todos os agentes remineralizantes promoveram melhora na integridade superficial do esmalte, porém houve diferenças significativas na resistência de união, sendo o CPP-ACP e a nano-hidroxiapatita os que apresentaram melhores valores de adesão e menor profundidade de desmineralização residual. Concluiu-se que o uso prévio de agentes remineralizantes pode restaurar parcialmente as propriedades mecânicas e adesivas do esmalte desmineralizado, otimizando a adesão dos materiais restauradores e contribuindo para uma abordagem minimamente invasiva e preventiva no tratamento de lesões cariosas iniciais.

O objetivo do estudo de Salam et al. (2025) foi identificar os protocolos mais adequados para induzir cárries artificiais em dentina coronária e determinar os métodos mais confiáveis para avaliar sua eficácia. Para isso, foi conduzida uma revisão sistemática seguindo as diretrizes PRISMA, com buscas nas bases MEDLINE/PubMed, Scopus e ScienceDirect, incluindo apenas estudos laboratoriais em inglês publicados entre 2019 e 2024 que utilizaram modelos químicos de desmineralização em dentina humana. No total, 23 estudos atenderam aos critérios de inclusão, sendo que 11 utilizaram o modelo de ciclagem de pH, 10 aplicaram o modelo simples de desmineralização, dois combinaram métodos químicos e biológicos e um não detalhou o protocolo. As análises realizadas nos estudos incluíram avaliação da densidade mineral, profundidade das lesões, estrutura cristalina, morfologia superficial e microdureza, utilizando métodos qualitativos, quantitativos e semi-quantitativos. Os resultados indicaram que o modelo de ciclagem de pH com 14 dias de imersão foi o mais utilizado e eficaz para induzir a desmineralização da dentina, seguido pelo modelo simples com solução de ácido acético. Conclui-se que nenhum método de avaliação isolado fornece informações completas sobre o conteúdo mineral, sendo recomendada a combinação de diferentes técnicas para obter resultados mais precisos e abrangentes.

3. OBJETIVOS

O objetivo desse estudo foi avaliar a eficácia da aPDT utilizando fucsina como fotossensibilizante ativada por LED azul na desinfecção da dentina cariada. A hipótese nula foi que a fucsina não apresentasse potencial de fotossensibilização.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Todos os procedimentos foram realizados em conformidade com as leis e diretrizes institucionais pertinentes, bem como com os padrões éticos estabelecidos na Declaração de Helsinque de 1964 e suas emendas posteriores. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) (CAAE: 5066322.1.0000.5481) em 25 de novembro de 2022. Todos os voluntários receberam esclarecimentos a respeito dos objetivos, procedimentos, bem como dos possíveis riscos e benefícios. Os direitos de privacidade dos participantes foram respeitados e cada paciente forneceu consentimento livre e esclarecido por escrito para o protocolo do estudo antes de doar os dentes para pesquisa.

4.1. Espécimes

Foram selecionados 60 dentes molares permanentes extraídos na Clínica Odontológica da PUC-Campinas. Foram incluídos os dentes extraídos por doença periodontal avançada, indicação ortodôntica, terceiros molares com indicação de exodontia por estarem em infraoclusão, mal posicionados e sem antagonista. Foram excluídos os dentes cariados, dentes fraturados e dentes inclusos e/ou impactados.

4.2. Preparo das amostras

Os dentes foram seccionados com disco diamantado dupla face em baixa rotação (KG Sorensen, São Paulo, SP, Brasil) para exposição da dentina coronária. A superfície dentinária foi planificada com lixa de carbeto de silício (Norton, São Paulo, SP, Brasil). Foi feita a impermeabilização das raízes com resina epóxi (Araldite, São Paulo, SP, Brasil) e esmalte de unha (Colorama, São Paulo, SP, Brasil) exceto na dentina coronária que foi exposta ao desafio cariogênico. Os dentes foram esterilizados em autoclave (Sercon, Belo Horizonte, MG, Brasil) na temperatura de 128°C e pressão de 1,4 Kgf/cm² durante 1 hora.

Figura 1 — Remoção do terço oclusal dos dentes



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 2 — Dentes com terço oclusal removido com brocas diamantadas e lixa d'água



Fonte: Autoria própria (2025)

4.3. Desafio Cariogênico

Os espécimes foram fixados em tampas de potes com cola quente (Leroy Merlin, Campinas, SP, Brasil) e fios ortodônticos (Morelli Ortodontia, Sorocaba, SP, Brasil). Os dentes foram submersos em meio BHI suplementado com 0,5% de extrato de levedura, 1% de glicose e 1% de sacarose (LabCenter, São Paulo, SP, Brasil) e cepa *S. mutans* ATCC 25175 (Fundação André Tosello, Campinas, SP, Brasil). Foi feita a incubação a 37°C por 15 dias em atmosfera de anaerobiose. O meio foi renovado diariamente e o pH monitorado. O pH deveria estar ≤ 5 para que fossem contabilizados os 15 dias de desafio cariogênico (Le Goff et al., 1997; Lima et al., 2005; Carvalho et al., 2008; Moro et al, 2021; Fernandes et al. 2022).

Figura 3 — Dentes impermeabilizados com esmalte de unha e resina epóxi, fixados em tampas através de fios ortodônticos. Meio de sobrevivência BHI suplementado com glicose 1%, extrato de levedura 0,5% e sacarose 1% e uma cepa padrão de *S.mutans* (ATCC 25175)



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 4 — Amostras em jarras de anaerobiose por 15 dias



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 5 — Aferição do pH diariamente e renovação do meio de sobrevivência



Fonte: Autoria própria (2025)

4.4. Cálculo amostral

Para este estudo, os dentes foram divididos, de forma randomizada, em 6 grupos usando www.random.org. O tamanho da amostra foi calculado em 15 dentes

por grupo com base nas descobertas de Moro et al. [31] usando um teste ANOVA (G Power 3.1.9.4, Franz Faul, Universidade de Kiel, Alemanha), com $\alpha = 0,05$, $\beta = 0,80$ e tamanho do efeito $f = 1,55$.

4.5. Grupos experimentais

- **C (Controle, n=15)** — Nenhum procedimento de desinfecção do tecido foi realizado.
- **LED azul (LDA, n=15)** — Irradiação com LED azul (DMC Equipamentos, São Carlos, SP, Brasil).
- **Fotossensibilizante fucsina (FTFC, n=15)** — Aplicação ativa da fucsina 0.005% (Fórmula & Ação, São Paulo, SP, Brasil) por 5 minutos com microbrush (Microbrush International, Grafton, Winsconsin, EUA).
- **FTFC + LDA (n=15)** — Aplicação ativa da fucsina 0.005% (Fórmula & Ação, São Paulo, SP, Brasil) com microbrush (Microbrush International, Grafton, Winsconsin, EUA) associado à irradiação com LED azul (DMC Equipamentos, São Carlos, SP, Brasil).

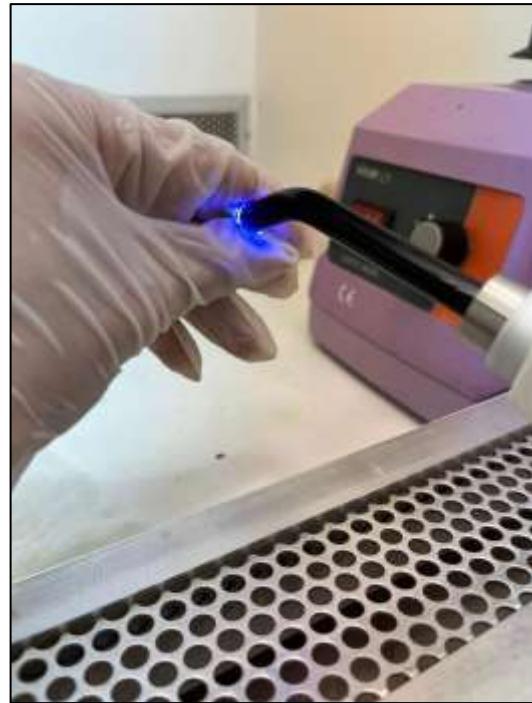
Os parâmetros de irradiação com o LED azul nos grupos amostrais foram: LED azul D2000 (DMC, São Carlos, São Paulo, Brasil) com potência de 1000 mW/cm^2 , comprimento de onda de 460 nm, energia de 9 J, por 9 segundos.

Figura 6 — Aplicação ativa da fucsina 0,005% com microbrush



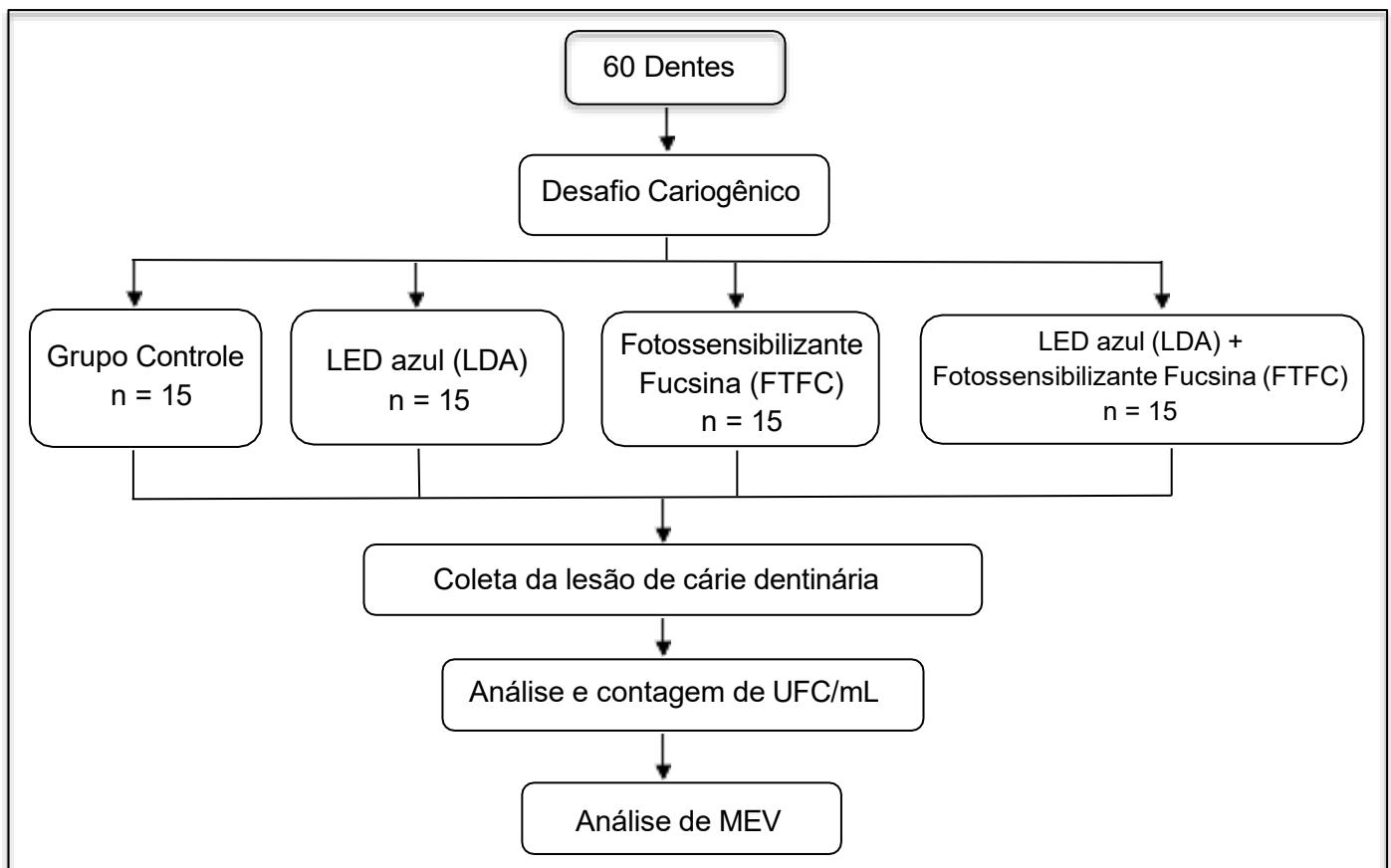
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 7 — Irradiação com LED azul



Fonte: Autoria própria (2025)

A metodologia da pesquisa está representada no fluxograma 1.



4.6. Processamento microbiológico

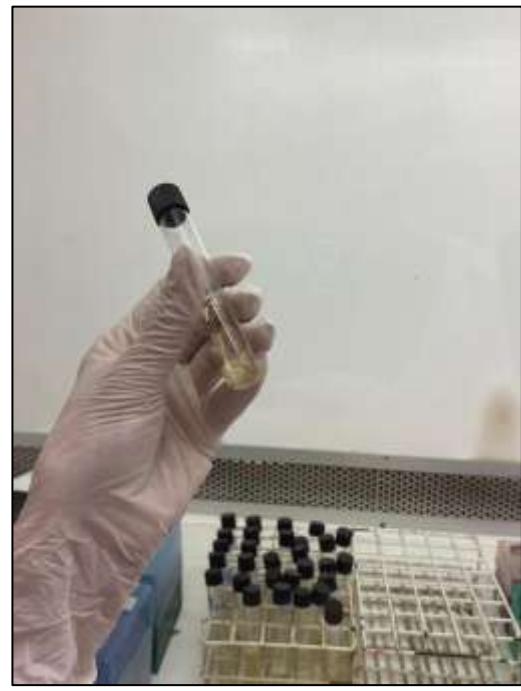
Após as intervenções, a lesão de cárie foi totalmente coletada com colher de dentina estéril (Golgran, São Paulo, SP, Brasil), transferida para tubos contendo água peptonada (Himedia, Mumbai, Índia) e homogeneizada em agitador de tubos (Phoenix, Araraquara, SP, Brasil) por 30 segundos. Diluições decimais de até 10^{-5} foram feitas e alíquotas de 25 μL foram semeadas em placas de ágar BHI (Brain Heart Infusion) (Oxoid, Basingstoke, Inglaterra) suplementadas com bacitracina (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha). As placas foram incubadas em jarra anaeróbica (Oxoid, Basingstoke, Inglaterra) por 48 horas a 37°C. Posteriormente, as unidades formadoras de colônia (UFC) foram quantificadas (Le Goff et al., 1997; Moro et al, 2021; Fernandes et al. 2022).

Figura 8 — Coleta da lesão de cárie dentinária



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 9 — Inserção do material em tubos de ensaio contendo água peptonada e homogeneização



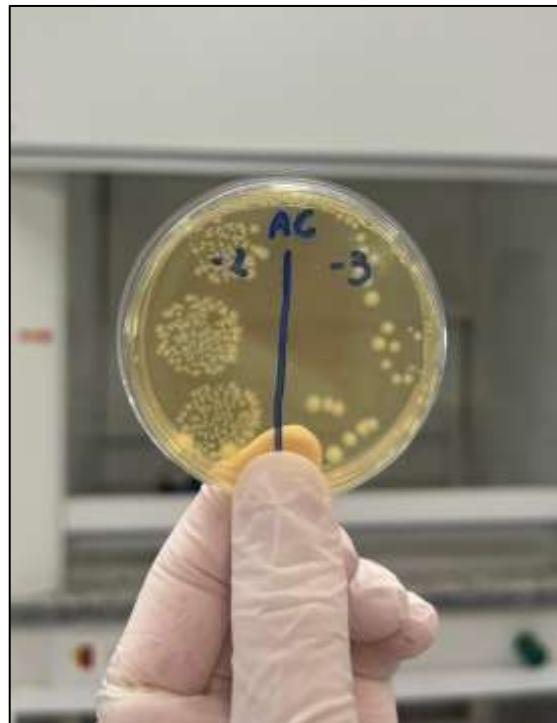
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 10 — 3 alíquotas de 25 uL com micropipetador em placas de BHI ágar



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 11 — Contagem total de bactérias viáveis



Fonte: Autoria própria (2025)

4.7. Microscopia de varredura (MEV)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para a análise qualitativa da desinfecção do tecido cariado, empregando diferentes protocolos. As amostras foram fixadas em glutaraldeído a 2% em tampão cacodilato 0,1 M a 4 °C por 6 horas, seguidas de lavagem em água ultrapura e desidratação em uma série crescente de soluções de álcool etílico (30%, 50%, 70%, 80%, 90% e 95%) por 5 minutos cada, e posteriormente imersas em álcool etílico absoluto por 10 minutos cada. Em seguida, as amostras foram tratadas com hexametildisilazano (HMDS) por 10 minutos sob uma capela de exaustão e deixadas secar completamente. Após a secagem, as amostras foram montadas em suportes de alumínio e revestidas com uma camada de ouro de aproximadamente 25 nm de espessura utilizando o equipamento de deposição por pulverização catódica Balzers SCD 050. O exame foi realizado utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Leo-430 i operando a 15 kV e um MEV FEI Inspect F50.

Figura 12 — A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para análise qualitativa da desinfecção do tecido cariado



Fonte: Autoria própria (2025)

4.8. Análise Estatística

Os resultados foram analisados no Programa Biostat 5.3 e submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. A amostra apresentou comportamento não normal e os resultados foram submetidos ao teste estatístico de Kruskal-Wallis (Student-Newman-Keuls) com nível de significância de 5%.

5. RESULTADOS

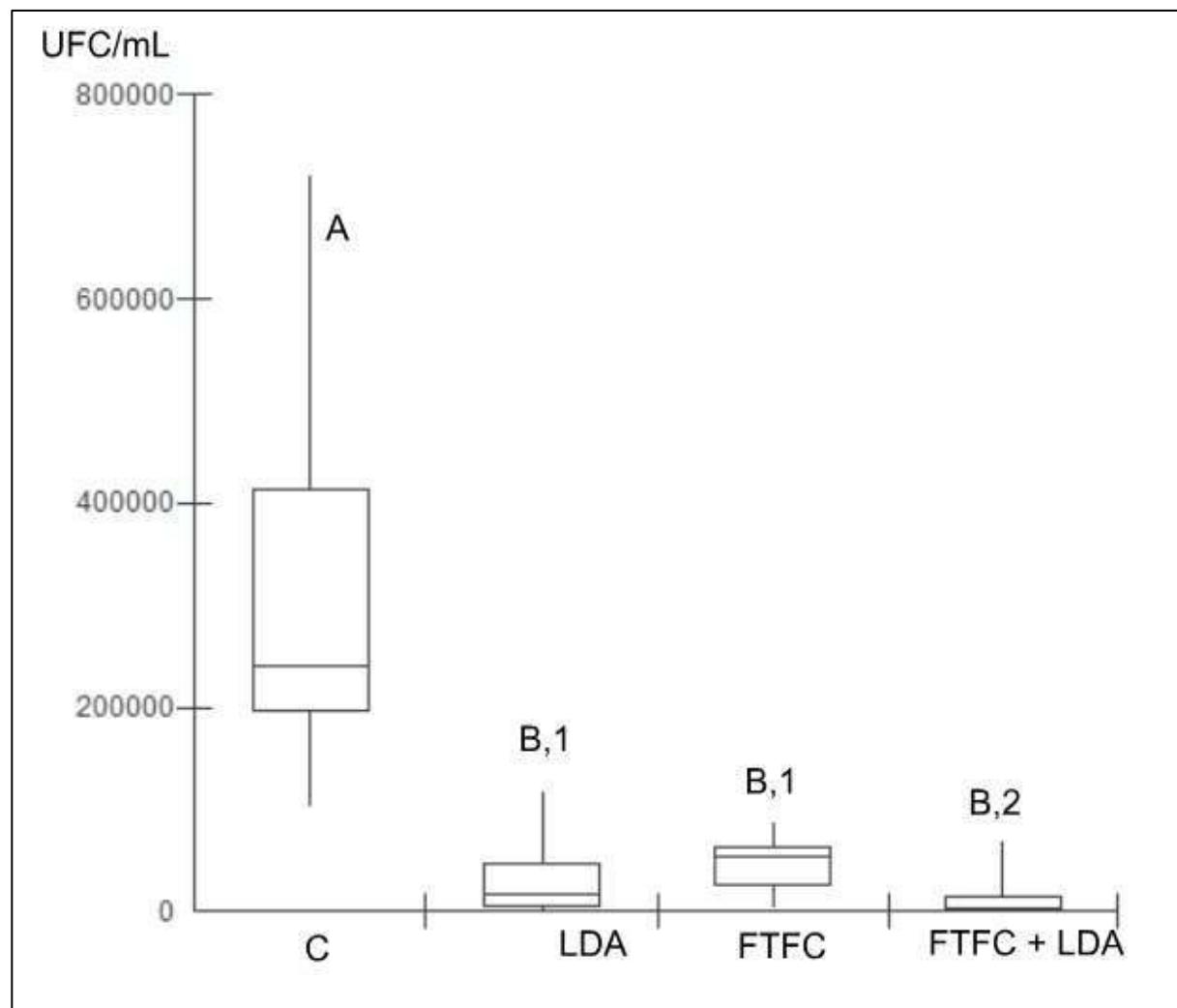
A maior redução de *S. mutans* ocorreu no grupo aPDT com FTFC+LDA com diferença significante em relação ao grupo C ($p<0.0001$), ao grupo FTFC ($p=0.0452$) e LED ($p=0.0024$). Todos os grupos experimentais apresentaram redução significativa de *S. mutans* da lesão de cárie ($p<0.01$). A porcentagem de redução microbiana de *S. mutans* da dentina cariada foi: aPDT com FTFC+LDA azul 96.07%, LDA 88.85% e FTFC 85.46% (Tabela 1 e gráficos 1 e 2).

Tabela 1 — Medianas (MD), desvios interquartílicos (DI), médias aritméticas (MA), desvios padrão (DP) e teste estatístico de Kruskal-Wallis (Student-Newman-Keuls) da contagem das UFC/mL de *S. mutans* dos grupos amostrais

	C	LDA	FTFC	FTFC + LDA	(p)
MD (DI)	241333 (217333) ^A	17333 (41793) ^{B,1}	53333 (38666) ^{B,1}	2533 (14606) ^{B,2}	0.0000
MA (DP)	305510 (168388)	34043 (37121)	44417 (26723)	11998 (18599)	

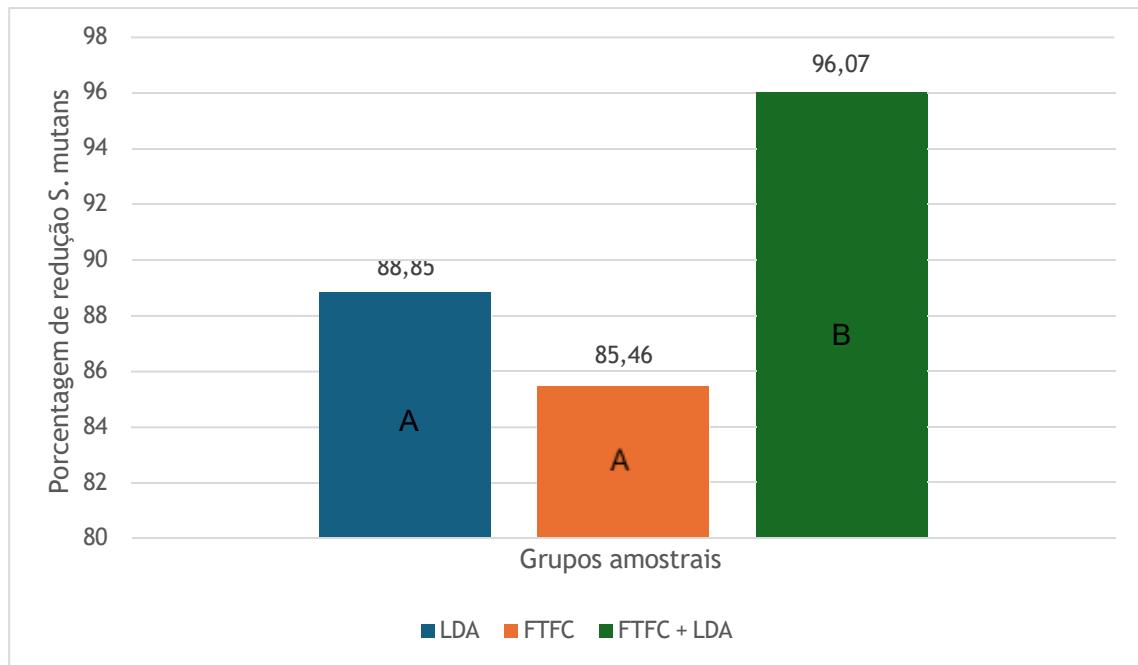
C: Controle; LDA: LED azul; FTFC: Fotossensibilizante fucsina; FTFC + LDA: Fotossensibilizante fucsina + LED azul. Letras e números diferentes: diferenças estatisticamente significantes.

Gráfico 1 — Box-Plot: medianas e quartis e teste estatístico de Kruskal-Wallis (Student-Newman-Keuls) da contagem das UFC/MI de *S. mutans* dos grupos amostrais



C: Controle; LDA: LED azul; FTFC: Fotossensibilizante fucsina; FTFC + LDA: Fotossensibilizante fucsina + LED azul. Letras e números diferentes: diferenças estatisticamente significantes.

Gráfico 2 — Porcentagem de redução de *S. mutans* da lesão de cárie dentinária após os protocolos de desinfecção com LDA, FTFC e FTFC + LDA



LDA: LED azul; FTFC: Fotossensibilizante fucsina; FTFC + LDA: Fotossensibilizante fucsina + LED azul. Letras diferentes: diferenças estatisticamente significantes.

Nas imagens em MEV, foi possível observar grande contaminação da lesão de cárie dentinária por *S. mutans* e presença de *smear layer* (Figura 12).

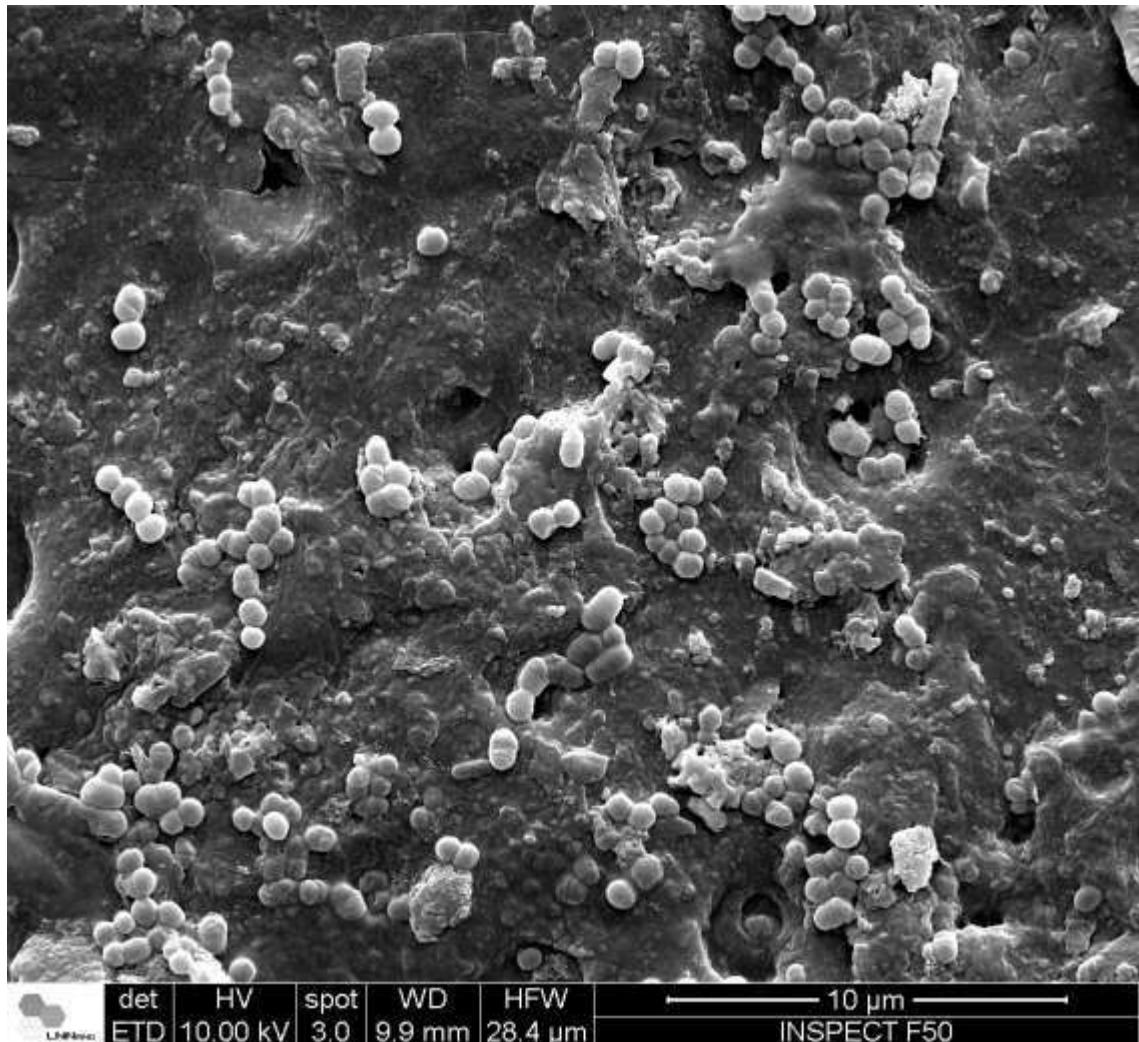


Figura 13 — Lesão de cárie dentinária. Notar grande contaminação microbiana e presença de *smear layer*.

Após a irradiação com LED azul ou aplicação da fucsina, foi possível observar diminuição da contagem de *S. mutans* e da *smear layer* (Figuras 13 e 14).

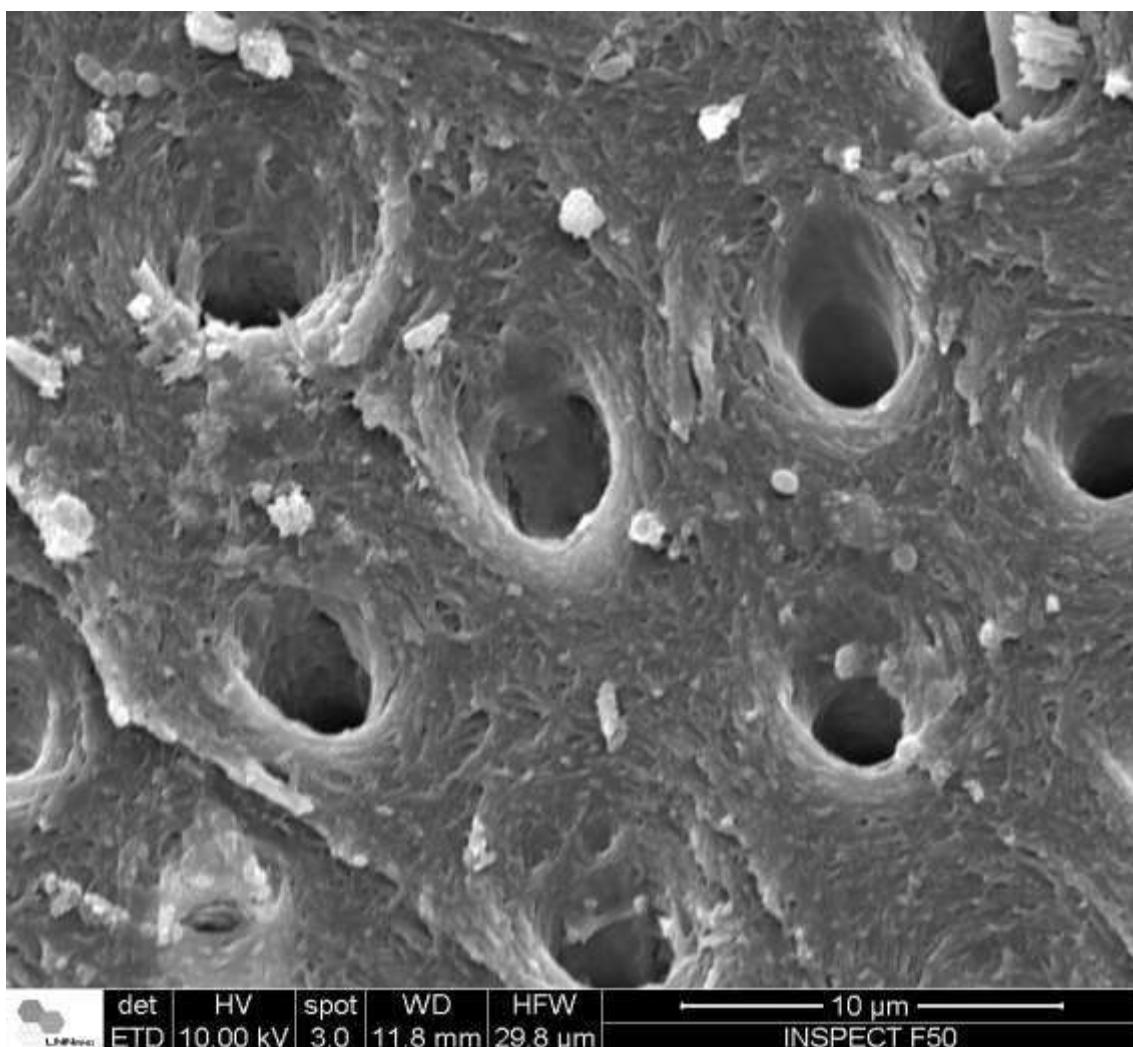


Figura 14 — Lesão de cárie dentinária após a irradiação com LED. Observar diminuição da contaminação por *S. mutans* e remoção da *smear layer* com exposição dos túbulos dentinários

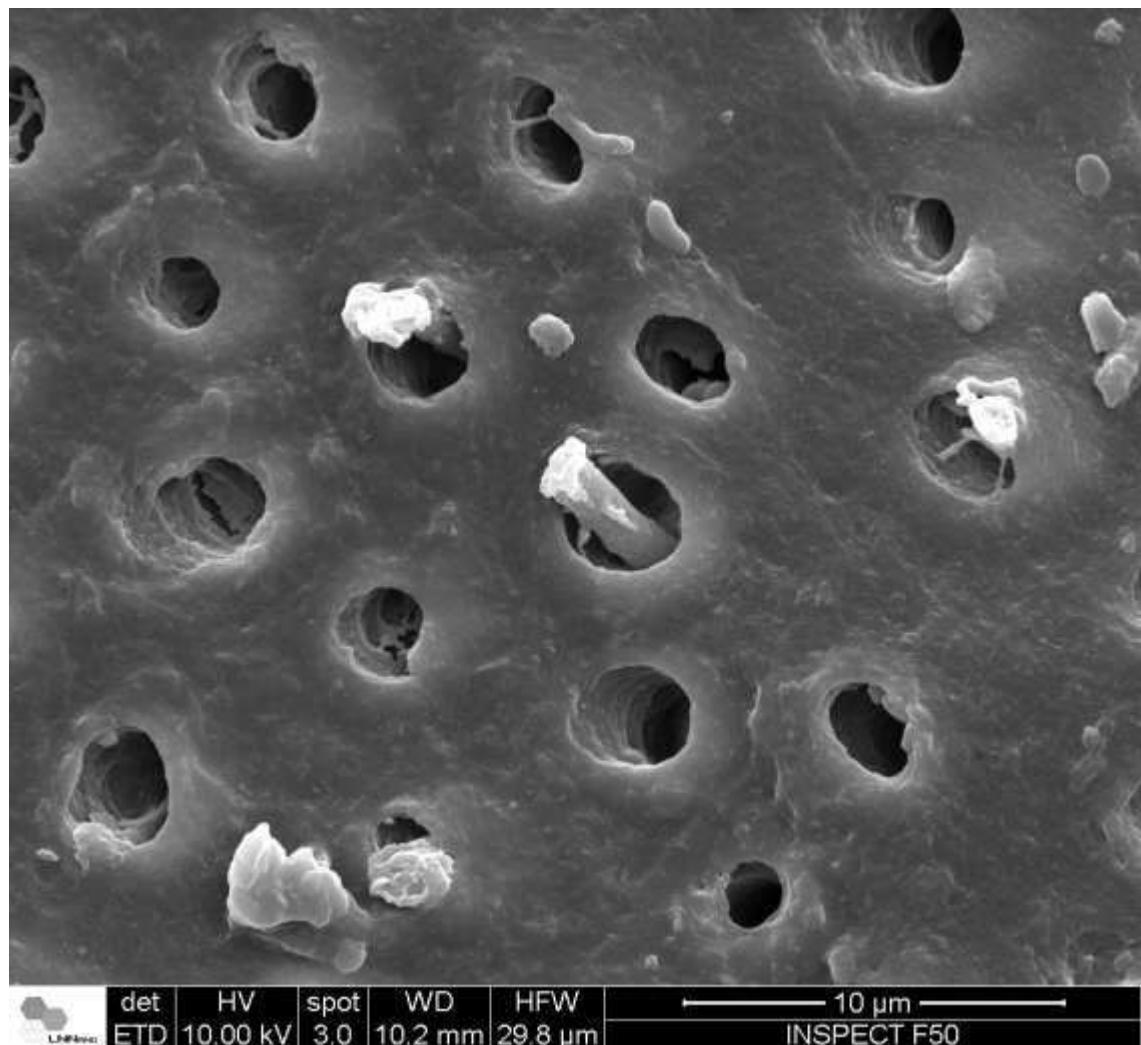


Figura 15 — Lesão de cárie dentinária após a aplicação da fucsina. Observar remoção da *smear layer*, túbulos dentinários e redução microbiana

Após a realização da aPDT com fucsina e LED azul, foi possível observar a maior redução microbiana entre os grupos amostrais, com remoção da *smear layer* e exposição dos túbulos dentinários (Figura 15).

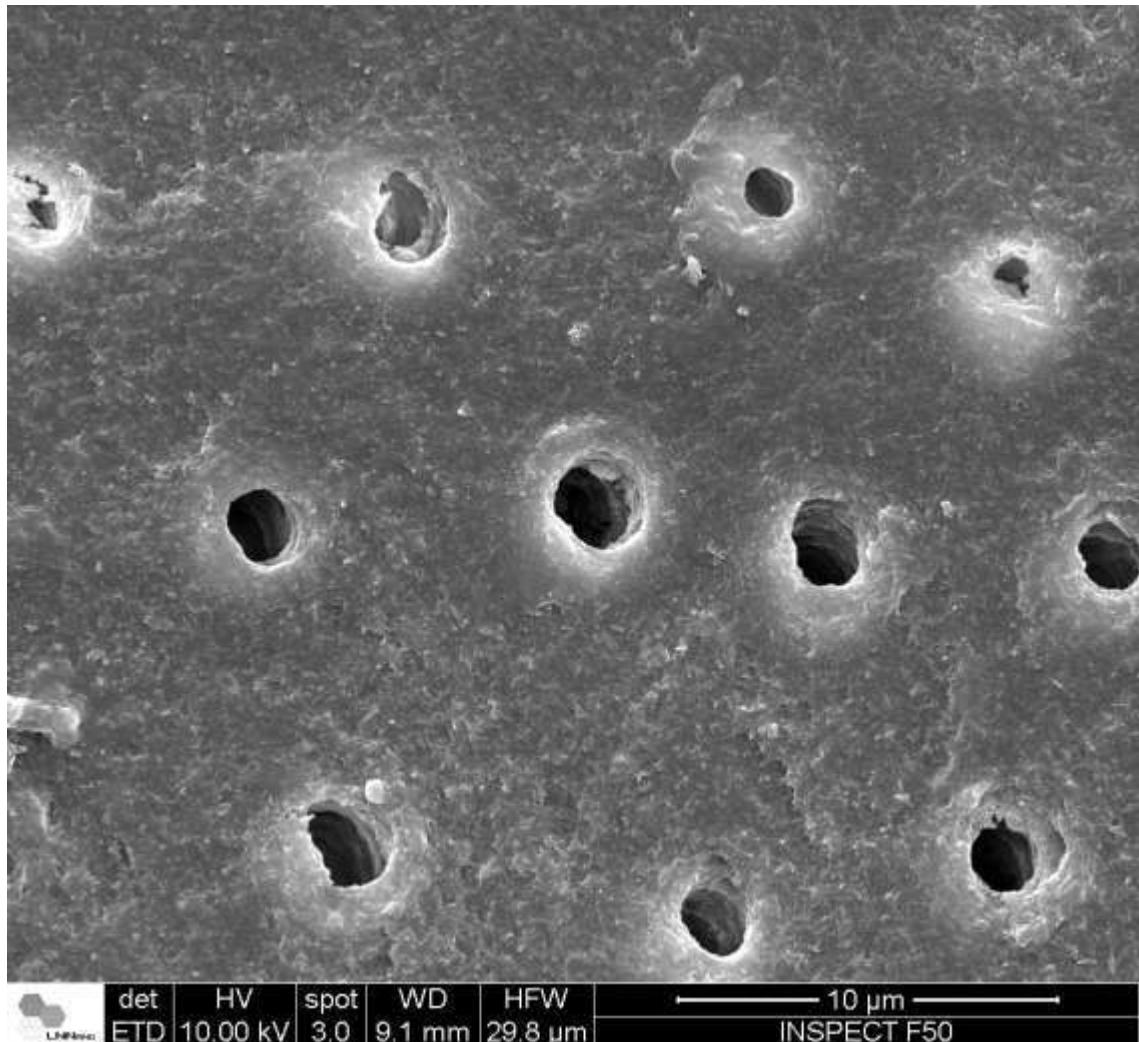


Figura 16 — Lesão de cárie dentinária após a realização da aPDT com fucsina e LED azul. Observar a limpeza dentinária com praticamente ausência de contaminação, remoção da *smear layer* e exposição dos túbulos dentinários

6. DISCUSSÃO

O desafio cariogênico feito nesse trabalho foi o método microbiológico de acordo com Le Goff et al. (1997); Carvalho et al. (2008); Pinheiro et al. (2009); Santin et al. (2014); Moro et al. (2021) e Fernandes et al. (2022). Em comparação ao modelo químico para confecção de lesões de cárie (Pacheco et al., 2013; Carti et al., 2025; Salam et al., 2025), o método microbiológico representa uma simulação mais fiel da lesão de cárie que acontece na cavidade bucal, uma vez que associa atividade metabólica bacteriana, dinâmica do biofilme e substrato cariogênico.

Foi selecionada a cepa padrão de *S. mutans* para o desafio cariogênico nesse trabalho, por ser considerada o principal microrganismo cariogênico, devido à sua alta capacidade acidogênica e acidúrica, que favorece a desmineralização e a progressão da lesão cárie (Bowen et al., 2011; Tanner et al., 2018; Spatafora et al., 2024). O processamento microbiológico foi feito conforme metodologia descrita por Le Goff et al. (1997), baseada em diluição, homogeneização, semeadura contagem das Unidades Formadoras de Colônias Viáveis (Bjørndal et al., 1997; Orhan et al., 2008; Baghani et al., 2024).

A energia de 9 J na aplicação do LED foi baseada na energia utilizada no laser vermelho de baixa potência utilizado na aPDT convencional que utiliza o azul de metileno como fotossensibilizante (Pinheiro et al., 2009; Guglielmi et al., 2011; Cieplik et al., 2017; Pinheiro et al., 2019; Zoli; Alves et al., 2019; Almeida et al., 2020; Pereira et al., 2020; Moro et al., 2021; Entezari et al., 2022; Fernandes et al., 2022; Godoy et al., 2023; Anvekar et al., 2024). O LED foi escolhido como fonte de luz por conta de sua fácil acessibilidade e custo reduzido, viabilizando a prática clínica e aumentando a adesão ao protocolo de desinfecção (Oda et al., 2019; Manphibool et al., 2023; Ravazzi et al., 2023).

A fucsina foi investigada como fotossensibilizante pela sua capacidade de penetrar em tecidos cariados e biofilmes, característica já explorada no uso clínico como evidenciador de placa (Sato et al., 1976; Yip et al., 1994). Foi utilizada a concentração de 0.005%, em analogia a protocolos clássicos com azul de metileno na aPDT (Pinheiro et al., 2009; Alves et al., 2019). Além disso, a fucsina poder ser irradiada pelo LED azul, o fotopolimerizador que o dentista usa rotineiramente na clínica, possibilitando o maior uso da aPDT, principalmente para os profissionais que não tem o laser vermelho em seus consultórios.

Os resultados demonstraram associação da fucsina como fotossensibilizante e do LED azul como fonte de luz, uma alternativa de aPDT, que resultou maior desinfecção da lesão de cárie dentinária. Essa redução de bactérias viáveis ocorre, pois estudos na literatura apontam a afinidade da fucsina por biofilme bacteriano e sua capacidade de geração de ROS quando ativada por LED azul, promovendo atividade bactericida expressiva (Trindade et al., 2019; Abedin et al., 2020; Galdino et al., 2021). As imagens observadas em MEV da aPDT com fucsina e LED azul mostraram redução de *S. mutans* da lesão de cárie dentinária, com remoção da *smear layer* e exposição dos túbulos dentinários.

O LED aplicado isoladamente apresentou redução significante de *S. mutans* da lesão de cárie (grupo controle). Isso pode ser explicado por que a irradiação com o LED atinge fotossensibilizantes endógenos presentes na lesão de cárie, como por exemplo, as porfirinas. Essa interação do LED azul com a fucsina gera ROS e morte celular (Kwiatkowski et al., 2018; Oda et al., 2019; Manphibool et al., 2023; Li et al., 2023). Houve redução significativa de *S. mutans* comprovando que a utilização de fotossensibilizantes endógenos potencializam a ação da luz azul (Oda et al., 2019; Manphibool et al., 2023; Ravazzi et al., 2023) sobre a lesão cariosa.

A fucsina, pertencente à classe dos xantenos, pode ser uma alternativa como fotossensibilizante de baixo custo, com comprimento de onda de 545 nm, próximo ao LED azul (450 nm), o que favorece sua ativação em protocolos de aPDT. Estudos recentes confirmam sua afinidade por biofilmes de *S. mutans* e sua capacidade de gerar ROS, resultando em atividade bactericida significativa (Galdino et al., 2021). Além disso, o rosa bengala, outro corante xanteno amplamente estudado, apresenta comprimento semelhante (cerca de 550 nm) e já teve eficácia comprovada quando associado ao LED azul (Calori et al., 2016; Kitanaka et al., 2020; Galdino et al., 2021; Gonçalves et al. 2021; Hirose et al., 2021).

Os resultados obtidos desse estudo *in vitro* demonstraram que tanto a fucsina quanto o LED apresentaram atividade antimicrobiana significativa, mas o protocolo de aPDT obteve as maiores taxas de redução bacteriana e melhor limpeza da superfície dentinária. Novos estudos devem ser realizados, como ensaios clínicos randomizados, para criar evidências clínicas fortes sobre a

utilização da fucsina e LED azul como protocolo de aPDT para desinfecção das lesões de cárie dentinárias.

7. CONCLUSÃO

Foi possível concluir que a fucsina irradiada com LED azul (fotopolímerizador) pode ser utilizada na aPDT para desinfecção do tecido cariado.

REFERÊNCIAS

1. ABEDIN F., YE Q., SPENCER P. Hydrophilic dyes as photosensitizers for photopolymerization of dental adhesives. **J Dent.** 2020 Aug;99:103405. doi: 10.1016/j.jdent.2020.103405. Epub 2020 Jun 6. PMID: 32522687; PMCID: PMC7415706.
2. ABINAYA R., NAGAR P., URS P., JANANI J., SMITHA S. (2020). Comparing the efficacy of three minimally invasive techniques on demineralized dentin in primary teeth and evaluating its residual dentin and microhardness levels: An in vitro study. **Int J Clin Pediatr** 13:585–589
3. ALMEIDA A., FAUSTINO M.A.F., NEVES M.G.P.M.S. Terapia fotodinâmica antimicrobiana no controle da COVID-19. **Antibióticos (Basileia)** 2020;9:320. DOI: 10.3390/antibioticos9060320
4. ANVEKAR M.P., VIRUPAXI S.G., YAVAGAL C, KULKARNI S, PAI R, PATIL V.V.C.. Evaluating the efficacy of cavity disinfection using methylene blue dye with 660-nm diode laser on primary molars: An in vivo study. **J Indian Soc Pedod Prev Dent.** 2024 Oct 1;42(4):280-285. doi: 10.4103/jisppd.jisppd_258_24. Epub 2025 Jan 11. PMID: 39798104.
5. BAGHANI Z., KARRABI M., ASSARZADEH H. Dentition Type as a Determinant of Microbial Load Reduction by Antimicrobial Photodynamic Therapy in Deep Dentin Caries: A Systematic Review and Meta-analysis. **J Dent (Shiraz).** 2024 Dec 1;25(4):296-308. doi: 10.30476/dentjods.2023.98616.2098. PMID: 39713109; PMCID: PMC11662176.
6. BJØRN DAL L., LARSEN T., THYLSTRUP A. A clinical and microbiological study of deep carious lesions during stepwise excavation using long treatment intervals. **Caries Res.** 1997;31(6):411-7. doi: 10.1159/000262431. PMID: 9353579.
7. BOWEN, W. H.; KOO, H. Biology of *Streptococcus mutans*-derived glucosyltransferases: role in extracellular matrix formation of cariogenic biofilms. **Caries Research**, Basel, v. 45, n. 1, p. 69–86, 2011.
8. CALORI I.R., PELLOSI D.S., VANZIN D., CESAR G.B., PEREIRA P.C.S., POLITI M.J. Distribution of Xanthene Dyes in DPPC Vesicles: Rationally Accounting for Drug Partitioning Using a Membrane Model. **J Braz Chem Soc [Internet].** 2016 Nov;27(11):1938–48. Available from: <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20160079>
9. CARTI Dörterler Ö., YILMAZ F., HALICI S.E., DEMIRBAS A., YIGIT E. Does the Use of Different Remineralisation Agents in a 14-day Demineralisation/Remineralisation Cycle Affect the Bond Strength to Artificial Carious Enamel Surfaces? **Oral Health Prev Dent.** 2025 Jun 3;23:241-251. doi: 10.3290/j.ohpd.c_1977. PMID: 40458013; PMCID: PMC12131905.
10. CARVALHO F.G., FUCIO S.B.P., SINHORETI M.A.C., CORRER-SOBRINHO L., PUPPIN-RONTANI R.M. Confocal Laser Scanning Microscopic Analysis of

the Depth of Dentin Caries-Like Lesions in Primary and Permanent Teeth. **Braz Dent J.** 2008; 19: 139-144

11. CIEPLIK F., BUCHALLA W., HELLWIG E., AL-AHAMAD A., HILLER K.A., MAISH T., KARYGIANNI L. Antimicrobial photodynamic therapy as an adjunct for treatment of deep carious lesions—A systematic review. **Photodiagnosis and Photodynamic Therapy.** 2017. Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/index.php/acervo/buscador.html?task=detalles&source=all&id=W2576011345>
12. CONTALDO M., DI STASIO D., ROMANO A., FIORI F., DELLA VELLA F., RUPE C., LAJOLO C., PETRUZZI M., SERPICO R., LUCCHESE A. Oral Candidiasis and Novel Therapeutic Strategies: Antifungals, Phytotherapy, Probiotics, and Photodynamic Therapy. **Curr Drug Deliv.** 2023;20(5):441-456. doi: 10.2174/1567201819666220418104042. PMID: 35440307. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35440307/>
13. DESAI H., STEWART C.A., FINER Y. Minimally Invasive Therapies for the Management of Dental Caries-A Literature Review. **Dent J (Basel).** 2021 Dec 7;9(12):147. doi: 10.3390/dj9120147. PMID: 34940044; PMCID: PMC8700643.
14. ENTEZARI S., MOEZZIMOGHADAM N., LAWAF S., AZIZI A. *In vitro* Effect of Photodynamic Therapy with Curcumin and Methylene Blue Photosensitizers on Staphylococcus Aureus. **J Dent (Shiraz).** 2022 Sep;23(2 Suppl):387-392. doi: 10.30476/DENTJODS.2021.90146.1470. PMID: 36588972; PMCID: PMC9789333. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9789333/pdf/JDS-23-387.pdf>
15. FERNANDES F.G.L., DE MORAES F.B., DE CEZARE J.A., DEGASPERI G.R., FONTANA C.E., GRANDIZOLI D.R.P., PINHEIRO S.L. (2022). In vitro evaluation of EDTA combined with photodynamic therapy to reduce Streptococcus mutans in carious dentin. **Photodiagnosis Photodyn Ther** 37:102718.
16. FRENCKEN, J. E., HOLMGREN C. J. Caries management through the Atraumatic Restorative Treatment (ART) approach and glass-ionomers: update 2013. **Brazilian Oral Research.** 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bor/a/tHKj6WvS6rL4CRLTvjsx4pw/?format=pdf&lang=en>
17. GALDINO D.Y.T., DA ROCHA G.L., PAVANI C., GONÇALVES L.M., BUSSADORI S.K., PASCHOAL M.A.B. Photodynamic optimization by combination of xanthene dyes on different forms of Streptococcus mutans: An in vitro study. **Photodiagnosis Photodyn Ther.** 2021 Mar;33:102191. doi: 10.1016/j.pdpdt.2021.102191. Epub 2021 Jan 23. PMID: 33497812.
18. GHOLAMI L., SHAHABI S., JAZAERI M., HADILOU M., FEKRAZAD R. Clinical applications of antimicrobial photodynamic therapy in dentistry. **Front Microbiol.** 2023 Jan 5;13:1020995. doi: 10.3389/fmicb.2022.1020995. PMID: 36687594; PMCID: PMC9850114.

19. GODOY R.C.L., BUENO C.E.D.S., DE MARTIN A.S., PELEGREINE R.A., FONTANA C.E., DUARTE M.A.H., VIVAN R.R., NASCIMENTO W.M., LIMOEIRO A.G.D.S., ROCHA D.G.P. Ex Vivo Evaluation of the Efficacy of Photodynamic Therapy in Eliminating Enterococcus faecalis from Dentinal Tubules by Confocal Laser Scanning Microscopy. *J Endod.* 2023 Jul;49(7):889-893. doi: 10.1016/j.joen.2023.05.007. Epub 2023 May 22. PMID: 37225038.
20. GONÇALVES M.L.L., SANTOS E.M., RENNO A.C.M., HORLIANA A.C.R.T., CRUZ M.A., PARISI J.R., PRATES R.A., LEAL-ROSSI A, FERNANDES K.P.S., MESQUITA-FERRARI R.A., BUSSADORI S.K. Erythrosine as a photosensitizer for antimicrobial photodynamic therapy with blue light-emitting diodes - An in vitro study. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2021 Sep;35:102445. doi: 10.1016/j.pdpt.2021.102445. Epub 2021 Jul 18. PMID: 34284146.
21. GUGLIELMI C de A, SIMIONATO M.R., RAMALHO K.M., IMPARATO J.C., PINHEIRO S.L., LUZ M.A. Clinical use of photodynamic antimicrobial chemotherapy for the treatment of deep carious lesions. *J Biomed Opt.* 2011 Aug;16(8):088003. doi: 10.1117/1.3611009. PMID: 21895343.
22. HIROSE M., YOSHIDA Y., HORII K., HASEGAWA Y., SHIBUYA Y. Efficacy of antimicrobial photodynamic therapy with Rose Bengal and blue light against cariogenic bacteria. *Arch Oral Biol.* 2021 Feb;122:105024. doi: 10.1016/j.archoralbio.2020.105024. Epub 2020 Dec 9. PMID: 33352361.
23. KITANAKA Y, TAKEUCHI Y, HIRATSUKA K, AUNG N, SAKAMAKI Y, NEMOTO T, MEINZER W, IZUMI Y, IWATAT, AOKI A. The effect of antimicrobial photodynamic therapy using yellow-green LED and rose bengal on *Porphyromonas gingivalis*. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2020 Dec;32:102033. doi: 10.1016/j.pdpt.2020.102033. Epub 2020 Oct 2. PMID: 33011393.
24. KWIATKOWSKI S., KNAP B., PRZYSTUPSKI D., SACZKO J., KEDZIERSKA E., KNAP-CZOP K., KOTINSKA J., MICHEL O., KOTOWSKI K., KULBACKA J. Photodynamic therapy - mechanisms, photosensitizers and combinations. *Biomed Pharmacother.* 2018 Oct;106:1098-1107. doi: 10.1016/j.biopha.2018.07.049. Epub 2018 Jul 17. PMID: 30119176.
25. LE GOFF A., BUNETEL L., MOUTON C., BONNAURE-MALLET M. (1997). Evaluation of root canal bacteria and their antimicrobial susceptibility in teeth with necrotic pulp. *Oral Microbiol Immunol* 12:318–322.
26. LI T., ZHAI X., SONG F., ZHU H. Selective versus non-selective removal for dental caries: a systematic review and meta-analysis. *Acta Odontol Scand.* 2018 Mar;76(2):135-140. doi: 10.1080/00016357.2017.1392602. Epub 2017 Oct 26. PMID: 29073814.
27. LI Y, SUN G, XIE J, XIAO S, LIN C. Antimicrobial photodynamic therapy against oral biofilm: influencing factors, mechanisms, and combined actions with other strategies. *Front Microbiol.* 2023 Jun 9;14:1192955. doi:

- 10.3389/fmicb.2023.1192955. PMID: 37362926; PMCID: PMC10288113. Disponível em: <https://PMC.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10288113/>
28. LIMA L.M., MOTISUKI C., SPOLIDORIO D.M.P., SANTOS-PINTO L. In vitro evaluation of probiotics microorganism adhesion to an artificial caries model. **Eur J Clin Nutrit.** 2005; 59: 889-886.-
 29. MANPHIBOOL C., MATANGKASOMBUT O., CHANTARANGSU S., CHANTARAWARATIT P.O. Effects of blue-light LED toothbrush on reducing dental plaque and gingival inflammation in orthodontic patients with fixed appliances: a crossover randomized controlled trial. **BMC Oral Health.** 2023 May 15;23(1):293. doi: 10.1186/s12903-023-02977-1. PMID: 37189136; PMCID: PMC10184111. Disponível em: <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-023-02977-1>
 30. MOGHISSI K., DIXON K., GIBBINS S. A PDT tem potencial no tratamento de pacientes com COVID 19? **Photodiagn Photodyn Ther.** 2020;31:101889. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2020.101889.
 31. MORO G.G., MASSAT N.C., GRANDIZOLI D.R.P., JUNIOR A.E., DEGASPERI G.R., FONTANA C.E., PINHEIRO S.L. Effect of cetrimide 2% with and without photodynamic therapy to reduce Streptococcus mutans burden in dentinal carious lesions. **Lasers Med Sci.** 2021 Dec;36(9):1935-1940. doi: 10.1007/s10103-021-03300-6. Epub 2021 Mar 31. PMID: 33786671; PMCID: PMC8009689.
 32. NG, M.; HO, Y.-C.; WYCOFF, S.; ZHU, Y.; FRIED, D. Short-Wavelength Infrared Imaging of Infected and Affected Dentin. **Diagnostics**, Basel, v. 14, n. 7, p. 744, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14070744>.
 33. ODA D.F., DUARTE M.A.H., ANDRADE F.B., MORIYAMA L.T., BAGNATO V.S., DE MORAES I.G. Antimicrobial action of photodynamic therapy in root canals using LED curing light, curcumin and carbopol gel. **Int Endod J.** 2019 Jul;52(7):1010-1019. doi: 10.1111/iej.13092. Epub 2019 Mar 5. PMID: 30720875.
 34. OLIVEIRA L. M., PAZINATTO J., ZANATTA F.B. Are oral hygiene instructions with aid of plaque-disclosing methods effective in improving self-performed dental plaque control? A systematic review of randomized controlled trials. **International Journal of Dental Hygiene**, [S. l.], v. 19, n. 4, p. 416–432, 2021. DOI: 10.1111/idh.12491.
 35. ORHAN A.I., OZ F.T., OZCELIK B, ORHAN K. A clinical and microbiological comparative study of deep carious lesion treatment in deciduous and young permanent molars. **Clin Oral Investig.** 2008 Dec;12(4):369-78. doi: 10.1007/s00784-008-0208-6. Epub 2008 Jun 12. PMID: 18548292.
 36. PACHECO L.F., BANZI É, RODRIGUES E, SOARES L.E., PASCON F.M., CORRER-SOBREINHO L., PUPPIN-RONTANI R.M.. Molecular and structural

- evaluation of dentin caries-like lesions produced by different artificial models. **Braz Dent J.** 2013 Nov-Dec;24(6):610-8. doi: 10.1590/0103-6440201302357. PMID: 24474358.
37. PEREIRA L.M., ESTEVAM L.R., da SILVA M.F., PINHEIRO S.L. Polyacrylic Acid with Methylene Blue Dye as a Sensitizing Agent for Photodynamic Therapy to Reduce *Streptococcus mutans* in Dentinal Caries. **Photobiomodul Photomed Laser Surg.** 2020 Nov;38(11):687-693. doi: 10.1089/photob.2019.4736. Epub 2020 Jul 30. PMID: 32758049.
 38. PINHEIRO S.L., SCHENKA A.A., NETO A.A., DE SOUZA C.P., RODRIGUEZ H.M., RIBEIRO M.C. Photodynamic therapy in endodontic treatment of deciduous teeth. **Lasers Med Sci.** 2009 Jul;24(4):521-6. doi: 10.1007/s10103-008-0562-2. Epub 2008 Apr 22. PMID: 18427873.
 39. PINHEIRO S.L., SEGATTI B., PUCCA D.S., DUTRA P.T. Dental acid etchant as a sensitizing agent in photodynamic therapy to reduce *S. mutans* in dentinal carious lesions. **Lasers Med Sci.** 2019 Mar;34(2):305-309. doi: 10.1007/s10103-018-2590-x. Epub 2018 Jul 19. PMID: 30027423.
 40. POURHAJIBAGHER M., KESHAVARZ VALIAN, N. & BAHADOR, A. Theranostic nanoplatforms of emodin-chitosan with blue laser light on enhancing the anti-biofilm activity of photodynamic therapy against *Streptococcus mutans* biofilms on the enamel surface. **BMC Microbiol** 22, 68 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02481-6>
 41. RAVAZZI, T. P. Q. The effects of antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) with nanotechnology-applied curcumin and 450nm blue led irradiation on multi-species biofilms in root canals. **Lasers Med Sci.** 2023 Nov 6;38(1):254. doi: 10.1007/s10103-023-03925-9. PMID: 37932526. Disponível: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37932526/>
 42. SALAM, A.E.A., ISMAIL H.S., HAMAMA H. Evaluation methods of artificial demineralization protocols for coronal dentin: a systematic review of laboratory studies. **BMC Oral Health.** 2025 Apr 24;25(1):621. doi: 10.1186/s12903-025-05885-8. PMID: 40275252; PMCID: PMC12020292.
 43. SATO Y, FUSAYAMA T. Removal of dentin by fuchsin staining. **J Dent Res.** 1976 Jul-Aug;55(4):678-83. doi: 10.1177/00220345760550042301. PMID: 58878.
 44. SAHIN Ö.H., KORUCU H, AYDIN Z.U. Evaluation of the effects of different photosensitizers used in antimicrobial photodynamic therapy on tooth discoloration: spectrophotometric analysis. **Lasers Med Sci.** 2024 May 21;39(1):133. doi: 10.1007/s10103-024-04085-0. PMID: 38771549; PMCID: PMC11108930.
 45. SANTIN G.C., OLIVEIRA D.S., GALO R, BORSATTO M.C., CORONA S.A. (2014) Antimicrobial photodynamic therapy and dental plaque: a systematic

- review of the literature. **ScientificWorldJournal** 2014:824538. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/824538>
46. SCHWENDICKE, F. Contemporary concepts in carious tissue removal: A review. **J Esthet Restor Dent.** 2017 Nov 12;29(6):403-408. doi: 10.1111/jerd.12338. Epub 2017 Sep 19. PMID: 28925550.
 47. SPATAFORA, G.; LI, Y.; HE, X.; COWAN, A.; TANNER, A. C. R. The evolving microbiome of dental caries. **Microorganisms**, v. 12, n. 1, p. 121, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12010121>. Acesso em: 16 jun. 2025.
 48. TANNER A.C., KENT R.L. Jr, HOLGERSON P.L., HUGHES C.V., LOO C.Y. KANASI E, CHALMERS N.I., JOHANSSON I. Microbiota of severe early childhood caries before and after therapy. **J Dent Res.** 2011 Nov;90(11):1298-305. doi: 10.1177/0022034511421201. Epub 2011 Aug 25. PMID: 21868693; PMCID: PMC3188461. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3188461/>
 49. TRINDADE A.C., DE FIGUEIREDO J.A., STEIER L., WEBER J.B. Photodynamic therapy in endodontics: a literature review. **Photomed Laser Surg.** 2015 Mar;33(3):175-82. doi: 10.1089/pho.2014.3776. Epub 2015 Feb 26. PMID: 25719896.
 50. YIP H.K., STEVENSON A.G., BEELEY J.A. The specificity of caries detector dyes in cavity preparation. **Br Dent J.** 1994 Jun 11;176(11):417-21. doi: 10.1038/sj.bdj.4808470. PMID: 8018431.

ANEXO A

 PUC CAMPINAS <small>PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS</small>	PONTIFICIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS - PUC/ CAMPINAS	
PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP		
DADOS DO PROJETO DE PESQUISA		
Título da Pesquisa: Avaliação de diferentes protocolos da Terapia Fotodinâmica associada ou não a Fotobiomodulação para Desinfecção da lesão de cárie dentinária		
Pesquisador: Sérgio Luiz Pinheiro		
Área Temática:		
Versão: 1		
CAAE: 65066322.1.0000.5481		
Instituição Proponente: Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUC/ CAMPINAS		
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio		
DADOS DO PARECER		
Número do Parecer: 5.777.543		
Apresentação do Projeto:		
INTRODUÇÃO:		
<p>Atualmente, a odontologia tem preconizado a utilização de técnicas minimamente invasivas para o tratamento da lesão de cárie dentinária. Entre essas possibilidades de tratamento, é possível destacar o Tratamento Restaurador Atraumático (ART) e a Dentística Minimamente Invasiva. Nessas técnicas, a remoção do tecido cariado é feita com instrumentos cortantes manuais visando à remoção da dentina infectada. Na cavidade, a camada profunda da dentina cariada conhecida como dentina afetada é mantida previamente a colocação do material restaurador (Massara et al., 2002). A literatura mostra que o selamento hermético da dentina cariada acarreta redução significativa do total de bactérias viáveis, paralisa a evolução da lesão de cárie e propicia condições favoráveis para o reparo dentinário (Banerjee et al., 2000a). Dessa maneira, diversos biomateriais com propriedades bactericidas e bacteriostáticas são utilizados. A dentina hígida é dividida histologicamente em 80% de parte orgânica e 20% inorgânica (Nakornchai et al., 2004). O componente mineral inorgânico apresenta - se na forma de cristais de hidroxiapatita de cálcio. A matriz orgânica da dentina consiste em colágeno tipo I com inclusões fracionais de glicoproteínas, proteoglicanos, fosfoproteínas e sialoproteínas imbebidas em substância fundamental amorfia (Fusayama e Terachima, 1972; Pinheiro et al., 2004; Lee et al., 2006). As fibras colágenas da dentina hígida intertubular observadas no microscópio de força atômica apresentam intervalos entre as bandas de aproximadamente 67 nm e diâmetros variando entre 90-120 nm. A</p>		
Endereço: Rua Professor Doutor Euryclides de Jesus Zerbini, 1516 - Bloco A02 - Térreo Bairro: Parque Rural Fazenda Santa Cândida CEP: 13.087-571 UF: SP Município: CAMPINAS Telefone: (19)3343-6777 Fax: (19)3343-6777 E-mail: comiteetica@puc-campinas.edu.br		
<small>Página 01 de 06</small>		



Continuação do Parecer: 5.777-543

porcentagem de colágeno tipo I, fosfoproteínas e sialoproteínas é maior no complexo dentino – pulpar em dentes hígidos quando comparada com dentes com lesão de cárie em esmalte e dentina. Essas três proteínas apresentam papel importante na dentinogênese, auxiliando na formação de dentina reparativa e reacionária (Lee et al., 2006). No processo cariogênico, as toxinas liberadas pelas bactérias se difundem para o interior do esmalte, iniciam reações bioquímicas na dentina e à medida que o processo infeccioso no esmalte intacto progride, perda de minerais e alterações da matriz ocorrem na dentina (Pinheiro et al., 2005). A redução do pH ativa as metaloproteinases que hidrolisam a matriz extracelular degradando a parte orgânica da dentina contribuindo para a progressão da lesão de cárie (Miller et al., 2006; Santos et al., 2009). A lesão de cárie dentinária pode ser dividida histologicamente em camada superficial (dentina infectada) e profunda (dentina afetada). A primeira camada apresenta extensa descalcificação e degeneração das fibras colágenas. Já a segunda camada, caracteriza-se por descalcificação intermediária, fibras colágenas reversivelmente alteradas e odontoblastos com ativo processo de recalcificação (Fusayama, 1979; Banerjee et al., 2000a). Atualmente, é possível observar seis camadas distintas na lesão de cárie em dentina: 1- externa, irreversivelmente desmineralizada; 2- translúcida; 3 - subtransparente; 4- esclerótica; 5- dentina hígida; 6- pré-dentina. As camadas 2, 3 e 4 correspondem as áreas reversivelmente alteradas pela lesão de cárie (Banerjee et al., 2000b). Na odontologia minimamente invasiva preconiza-se a remoção da dentina infectada e manutenção da dentina afetada. O selamento do complexo dentino-pulpar restringe a nutrição microbiana paralisando a progressão da lesão de cárie (Fusayama e Terachima, 1972; Kuboki et al., 1977; Fusayama, 1979; Banerjee et al., 2000a; Banerjee et al., 2000b; Mertz – Fairhurst et al., 1986; Pinheiro et al., 2004). Nesse contexto da mínima intervenção na lesão de cárie, uma possibilidade que pode auxiliar na redução microbiana do tecido cariado é a terapia fotodinâmica. Esse método parte do princípio que uma luz de comprimento de onda específico incide sobre uma solução fotosensibilizante e ocorre a transferência de energia entre luz/fotosensibilizante e substrato, originando fôtons de energia que liberam oxigênio singuleto e radicais livres. Essas substâncias liberadas atuam na parede bacteriana modificando seu metabolismo através da alteração de lipídeos, proteínas e ácidos nucleicos, levando a morte bacteriana. Além disso, esta é uma técnica de fácil aplicação, indolor, não promove resistência microbiana e não causa efeitos sistêmicos (Krespi et al., 2005; Komerik & MacRobert, 2006; Soukos et al., 2006; Sahu et al., 2009; Pinheiro et al., 2010). As lâmpadas emissoras de luz podem ser do tipo halógena, emissoras de diodo (LED) e laser de baixa intensidade e podem ser utilizadas na odontologia (Wood et al., 2013). As lâmpadas halógenas produzem luz azul, liberam calor quando ativadas e atuam com comprimento de onda

Endereço:	Rua Professor Doutor Euryclides de Jesus Zerbini, 1516	Bloco A02	Térreo
Bairro:	Parque Rural Fazenda Santa Cândida	CEP:	13.087-571
UF: SP	Município: CAMPINAS		
Telefone: (19)3343-6777	Fax: (19)3343-6777	E-mail:	comitedeetica@puc-campinas.edu.br



PONTIFICIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DE CAMPINAS -
PUC/CAMPINAS



Continuação do Parecer: 5.777.543

aproximado de 670 nm. As lâmpadas emissoras de diodo emitem luz monocromática com pouca elevação de temperatura atuando no comprimento de onda que varia entre 450-490 nm (Mills et al., 2002). O laser de baixa intensidade apresenta efeito analgésico, modulador da inflamação, tem potencial regenerativo e quando associado ao fotossensibilizante tem ação antimicrobiana (Soukos et al., 2006). Diversos fotossensibilizantes podem ser utilizados na PDT. Dentre eles, destacam-se os xantenos e as fenotiazinas (Garcez et al., 2007; Pinheiro et al., 2010; Sahu et al., 2009; Komerik & MacRobert, 2006; Soukos et al., 2006; Krespi et al., 2005). Protocolos diferentes para a realização da terapia fotodinâmica para redução microbiana podem ser utilizados variando os fotossensibilizantes e as fontes de luzes. A estimulação celular por fotobiomodulação antes da terapia fotodinâmica também pode aumentar a redução microbiana no tecido cariado. Esse projeto de pesquisa tem essa proposição, estudar diferentes protocolos de terapia fotodinâmica e a utilização da fotobiomodulação para desinfecção cavitária.

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO:

- Dentes extraídos por indicação clínica: doença periodontal avançada, dentes indicados para extração por indicação ortodôntica (aparelho), dentes do siso;
- Dentes cujos pacientes doadores assinaram o TCLE para a doação dos dentes para a pesquisa.

CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO:

- Dentes cariados e/ou fraturados.

Objetivo da Pesquisa:

OBJETIVO PRIMÁRIO:

O objetivo do presente trabalho será avaliar diferentes protocolos de terapia fotodinâmica associada ou não a fotobiomodulação para desinfecção da lesão de cárie dentinária. Avaliar se a fotobiomodulação antes da realização da terapia fotodinâmica pode potencializar o efeito antimicrobiano em lesões de cárie dentinárias.

OBJETIVO SECUNDÁRIO: Não se aplica.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

RISCOS:

Os riscos desse trabalho são aqueles que os indivíduos estão sujeitos quando fazem a extração

Endereço: Rua Professor Doutor Eurycles de Jesus Zerbini, 1516 - Bloco A02 - Térreo

Bairro: Parque Rural Fazenda Santa Cândida

CEP: 13.087-571

UF: SP

Município: CAMPINAS

Telefone: (19)3343-6777

Fax: (19)3343-6777

E-mail: comitedeetica@puc-campinas.edu.br



PONTIFICIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DE CAMPINAS -
PUC/ CAMPINAS



Continuação do Parecer: 5.777.543

dentária, a saber: alergia, afta, dor no local da extração, dificuldade de mexer o rosto, anestesia demorar para passar, tontura e sensação de desmaio, fratura óssea e inchaço. É importante ressaltar que esses riscos acontecem em qualquer extração dentária. Portanto, na doação de dentes para execução desse trabalho, o doador não estará sujeito a riscos adicionais além dos de rotina no tratamento odontológico.

BENEFÍCIOS:

O retorno e benefícios para a população é estudar protocolos de desinfecção do tecido cariado que acarretem em menor desgaste do tecido cariado, possibilitando tratamentos odontológicos com menos complexidade, menos invasivos, mais baratos e mais acessíveis para a população. Estudar fotossensibilizantes que podem ser desenvolvidos no nosso país em larga escala e mais baratos, como o açaí e urucum que podem ser classificados como Xantenos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

- Pertinência e valor científico do estudo proposto;
- Adequação da metodologia aos objetivos perseguidos;
- Grau de vulnerabilidade dos sujeitos e medidas protetoras propostas;
- Garantia dos direitos fundamentais do sujeito de pesquisa (informação, privacidade, recusa inócuas, desistência, indenização, resarcimento, continuidade do atendimento, acesso ao pesquisador e CEP etc.);
- Tratamento adequado dos dados e materiais biológicos

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos apresentados e que foram avaliados são:

- Projeto de Pesquisa;
- Folha de Rosto do Sistema Plataforma Brasil;
- Declaração de Ciência e Autorização da Diretoria do Centro de Ciências da Vida-CCV;
- Termo de Compromisso e Utilização de Dados;
- Declaração De Responsabilidade, Compromisso e Confidencialidade (pesquisador);
- Termo de Consentimento para Tratamento de Dados Pessoais;
- Declaração de Custos e Recursos;
- Declaração de Infraestrutura;
- Cronograma;

Endereço: Rua Professor Doutor Euryclides de Jesus Zerbini, 1516 – Bloco A02 – Térreo

Bairro: Parque Rural Fazenda Santa Cândida **CEP:** 13.087-571

UF: SP **Município:** CAMPINAS

Telefone: (19)3343-6777

Fax: (19)3343-6777

E-mail: comitedeetica@puc-campinas.edu.br



PONTIFICIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DE CAMPINAS -
PUC/ CAMPINAS



Continuação do Parecer: 5.777.543

- TCLE.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto se encontra em conformidade com as normas éticas, sendo considerado aprovado.

Considerações Finais a critério do CEP:

Dessa forma, e considerando a Resolução CNS nº. 466/12, Resolução CNS nº 510/16, Norma Operacional 001/13 e outras Resoluções vigentes, é atribuição do CEP "acompanhar o desenvolvimento dos projetos, por meio de relatórios semestrais dos pesquisadores e de outras estratégias de monitoramento, de acordo com o risco inerente à pesquisa". Por isso o/a pesquisador/a responsável deverá encaminhar para o CEP PUCCampinas

os Relatórios Parciais a cada seis meses e o Relatório Final de seu projeto, até 30 dias após o seu término.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJECTO_2034935.pdf	28/10/2022 16:02:47		Aceito
Outros	termodeconsentimentoaparatratamentode dadospessoais.pdf	28/10/2022 16:00:50	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
Outros	termodecompromissoparautilizaçãodado s.pdf	28/10/2022 15:59:40	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle.pdf	28/10/2022 15:58:48	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito

Endereço: Rua Professor Doutor Eurycles de Jesus Zerbini, 1516 - Bloco A02 - Térreo

Bairro: Parque Rural Fazenda Santa Cândida CEP: 13.087-571

UF: SP Município: CAMPINAS

Telefone: (19)3343-6777

Fax: (19)3343-6777

E-mail: comiteeetica@puc-campinas.edu.br



PONTIFICIA UNIVERSIDADE
CATÓLICA DE CAMPINAS -
PUC/CAMPINAS



Continuação do Parecer: 5.777.543

Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projetosergio.pdf	28/10/2022 15:58:20	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
Declaração de Pesquisadores	declaracaoresponsabilidadecompromissocondidencialidadeorientador.pdf	28/10/2022 15:57:49	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declaracaoinfracep.pdf	28/10/2022 15:57:10	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
Orçamento	declaracaocustos.pdf	28/10/2022 15:56:47	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
Cronograma	cronograma.pdf	28/10/2022 15:56:16	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
Outros	ciccvautorizaçaoportunidadepesquisasergio.pdf	28/10/2022 15:55:48	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
Outros	cartapropesq.pdf	28/10/2022 15:54:59	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
Outros	cartacep.pdf	28/10/2022 15:54:23	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_Sergio_Luiz_Pinheiro.pdf	28/10/2022 15:53:08	Sérgio Luiz Pinheiro	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

CAMPINAS, 25 de Novembro de 2022

Assinado por:

HELOISA HELENA OLIVEIRA DE AZEVEDO
(Coordenador(a))

Endereço:	Rua Professor Doutor Euryclides de Jesus Zerbini, 1516 / Bloco A02 / Térreo				
Bairro:	Parque Rural Fazenda Santa Cândida	CEP:	13.087-571		
UF:	SP	Município:	CAMPINAS		
Telefone:	(19)3343-6777	Fax:	(19)3343-6777	E-mail:	comitedeetica@puc-campinas.edu.br