



**UNIVERSIDADE  
FERNANDO  
PESSOA**

## **O PAPEL DO LASER ER: YAG COMO ADJUVANTE NA DESINFECÇÃO ENDODONTICA CONTRA E. FAECALIS - REVISÃO INTEGRATIVA**

[ The role of the laser ER:YAG as an adjuvant in endodontic disinfection against  
E. Faecalis – Integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentaria

Tommaso Ricciardi

Orientador:

Mestre Luis Miguel França dos Reis Martins

Junho 2025







**O PAPEL DO LASER ER : YAG COMO ADJUVANTE NA  
DESINFECÇÃO ENDODONTICA CONTRA E. FAECALIS -  
REVISÃO INTEGRATIVA**

[ The role of the laser ER:YAG as an adjuvant in endodontic disinfection against  
E. Faecalis – integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentaria

Tommaso Ricciardi

Orientador:

Mestre Luis Miguel França dos Reis Martins

Junho 2025



A mia madre Vittoria, che sempre mi ha saputo sostenere e più di ogni altra persona al mondo, sa sempre cosa ho in testa.

A mia sorella Francesca, con la quale ho un'intesa fortissima e che è sempre stata in grado di capirmi, e soprattutto con cui tanto mi sono divertito, e tanto mi divertirò.

A lui, la mia guida, il mio esempio, il mio orgoglio, mio padre Michele, che ogni giorno si alza per lavorare e dare il suo massimo per darmi la miglior vita che io possa avere.

GRAZIE a tutti voi, non sarebbe stato possibile senza il vostro costante aiuto !!

E poi, anche a te zio Mimmo, grazie per quello che sei stato e per tutto quello che mi hai dato, non ti dimenticherò mai !!



## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu professor orientador, Luís Martins, pelo apoio na preparação desta revisão integrativa e pela sua constante simpatia e disponibilidade.

Alla mia bellissima famiglia :

Mamma e Papa grazie per quello che siete, per come siete e per tutto l'impegno che avete messo nel crescermi. Nulla di tutto ciò è scontato, e voi avete reso possibile questa bellissima esperienza, è solo merito vostro !!

Chicca grazie anche a te , alla mia signorina che sempre mi è stata vicino con un affetto a premura che non tutti i fratelli e sorelle hanno, ad un'intesa fortissima che spero possa solo che migliorare, grazie.

Un grazie speciale anche ai miei amici modenesi, compagni di vacanze bellissime, e ormai costanti della mia vita a casa, che mi accompagnano da ormai 18 anni, Jacopo Giusti, Filippo Giusti, Simone Bugo, Marco Borghi, Adriano Sianko, Nicola Ilami, Luca Toni, Luca Zanetti.

E poi, a tutte le persone incredibili che ho incontrato in questa mia avventura :

Valerio Nuvoli, il mio secondo padre, grazie per quello che mi hai insegnato sei un amico e una persona fantastica!

Grazie infinite anche a Stefano de Franchis, a Ilaria Brunori, A Giuseppe Indelicato, A Gabriele Zarbo, A Evelina Scopelliti, A Chiara Savio, Pietro D'Alessandro e Sara Spina.

A voi che ci siete sempre stati dal momento zero, a tutte le nostre bellissime vacanze fatte assieme, a tutte le mangiate spettacolari che ci siamo fatti, ai nostri aperitivi e a molte altre avventure che abbiamo vissuto assieme. Siete stati un sostegno continuo.

Avrete sempre un posto speciale e privilegiato nel mio cuore, grazie ancora.

Un Grazie speciale anche a Marcolone Furlanetto, persona sempre molto piacevole e disponibile, e soprattutto, di grande intelligenza e dedizione.

Edo, che dire, è molto complesso da spiegare ma il rapporto che siamo riusciti a creare ha sicuramente qualcosa di speciale. Ti ringrazio dal profondo per tutto il bene che mi hai fatto sostenendomi sempre nei momenti difficili, ti ringrazio per l'impegno che hai messo nel capirmi sempre, sei al pari di un fratello.

Eccoci Pie amico mio, mi sembrava doveroso dire un milione di cose, di raccontare milioni di serate, situazioni, esami, avventure. Ne abbiamo fatte talmente tante assieme che sarebbe impossibile. Il valore della nostra amicizia è oltre alle parole. Grazie di esistere, grazie di esserci sempre stato, anche io per te, ci sarò sempre.

Davide, con te un rapporto che siamo stati in grado di far crescere molto negli ultimi anni, un vero peccato perché avrei voluto averti dal giorno zero. Anche con te, mi risulta quasi impossibile spiegare il significato della nostra fortissima amicizia. Il sostegno costante che ho ricevuto da te mi ha sempre fatto sentire sicuro e sereno, come se tu fossi stato il mio fratello maggiore. Hai sempre avuto premura per me, hai sempre avuto una grandissima capacità di capirmi e ascoltarmi. Spero di averti restituito anche solo un decimo di tutto il bene che hai fatto a me. Io per te ci sarò sempre, e sappilo, non ti libererai di me in un futuro,

Ormai è per sempre.

Eugi, veniamo a te, sicuramente la ragazza con più carattere e carisma che io abbia mai conosciuto. Grazie per tutte le risate, per tutte le stronzate che abbiamo fatto assieme, per le mangiate, per l'aiuto che mi hai sempre dato, e soprattutto, GRAZIE di essere così.

Sei una persona splendida e speciale per me, ti voglio bene!

Matti e Anto, i miei sardi preferiti, amici e compagni di questa splendida esperienza.

Con poche persone mi sono divertito così nella mia vita, siete due persone splendide e generosissime. Grazie di tutte le birrette, dei panini di conga, delle cene alle 2 di notte a casa vostra, del mirto, dei formaggi, delle uscite al mercato, dei porri e delle innumerevoli risate. Vi voglio un bene dell'anima grazie !!

Marco, Bru, grazie anche a te, un rapporto nato per passioni in comune e tanta amicizia e che siamo riusciti a portare avanti egregiamente. Grazie per essermi stato vicino quando ne avevo bisogno. Hai un cuore grande, sappilo.

Nik e Gigio, i miei due musicisti, grazie delle bellissime serate a suonare assieme. Mi avete permesso di suonare e divertirmi con voi, e come sapete, per noi musicisti questo ha un valore che è oltre ogni parola. E' stata una grandissima figata.

Mia e Amira, anche voi come tutti gli avventurieri sopracitati, avete un posto speciale in questo percorso. Mia, grazie dei pomeriggi e delle serate passate a bere e scherzare e grazie dell'energia che sei stata in grado di darmi in questi anni. Amira, grazie delle cene

palestinesi, della nostra avventura marocchina, e della tua generosità e voglia di stare insieme.

Anche per voi ci sarò sempre !

Infine, grazie a questa città incredibile per avermi insegnato che dopo la pioggia,

Tornerà sempre il sole.

Obrigado Porto, o prazer foi meu.



## RESUMO

Esta revisão integrativa analisa o papel do laser Er:YAG como adjuvante na desinfecção endodôntica, com foco na sua eficácia contra *Enterococcus faecalis*, uma bactéria frequentemente associada ao insucesso dos tratamentos endodônticos. A literatura consultada inclui estudos *in vitro* e *ex vivo*, que demonstram que o Er:YAG, sobretudo quando combinado com irrigantes tradicionais como o hipoclorito de sódio (NaOCl), melhora significativamente a eliminação bacteriana e a remoção da smear layer.

Técnicas como a PIPS (Photon-Induced Photoacoustic Streaming) amplificam o efeito do laser, facilitando a penetração em áreas inacessíveis aos irrigantes. No entanto, a eficácia varia conforme os parâmetros utilizados (energia, frequência, tempo), e o uso inadequado pode causar aumento de temperatura nos tecidos, o que reforça a necessidade de irrigação contínua e protocolos padronizados.

Conclui-se que o laser Er:YAG tem potencial como complemento à desinfecção convencional, especialmente em casos complexos, mas ainda carece de mais estudos clínicos para validação definitiva.

### **Palavras-chave:**

*Er:YAG, desinfecção endodôntica, Enterococcus faecalis, laser em endodontia.*



## ABSTRACT

This integrative review analyzes the role of the Er:YAG laser as an adjunct in endodontic disinfection, focusing on its effectiveness against *Enterococcus faecalis*, a bacterium often associated with endodontic treatment failure. The reviewed literature including *in vitro* and *ex vivo* studies, shows that Er:YAG—especially when combined with traditional irrigants such as sodium hypochlorite (NaOCl)—significantly improves bacterial elimination and smear layer removal.

Techniques like PIPS (Photon-Induced Photoacoustic Streaming) enhance the laser's effect, facilitating deeper penetration into areas inaccessible to irrigants. However, the efficacy varies depending on parameters used (energy, frequency, duration), and improper use may cause a rise in temperature, underscoring the importance of continuous irrigation and standardized protocols.

In conclusion, the Er:YAG laser shows promise as a complementary tool to conventional disinfection, particularly in complex cases, but further clinical studies are needed to confirm its definitive role.

**Keywords:**

*Er:YAG, endodontic disinfection, Enterococcus faecalis, laser in endodontic.*



## ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	xix
ÍNDICE DE TABELAS .....	xxi
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS OU ACRÓNIMOS .....	xxiii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. DESENVOLVIMENTO .....	5
2.1. Materiais e Métodos .....	5
2.1.1. Fontes da pesquisa.....	5
2.1.2. Critérios de inclusão e exclusão .....	5
2.1.3. Seleção dos estudos .....	6
2.2 Resultados.....	9
2.2.1. Apresentação e características dos estudos .....	9
2.2.2 Resultados dos estudos selecionados .....	18
2.3 Discussão.....	19
3. CONCLUSÃO .....	23
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representação gráfica do diagrama PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).....	8
--	---



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Características dos estudos selecionados para a análise.....	12
Tabela 2. Resultados dos estudos selecionados para a análise.....	13



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS OU ACRÓNIMOS

<b>BHI</b>	<i>Brain Heart Infusion</i> (meio de cultura bacteriana)
<b>CFU</b>	<i>Colony Forming Units</i> (unidades formadoras de colónias)
<b>EDTA</b>	Ácido etilenodiaminotetracético
<b>Er:YAG</b>	Érbio:Ytrium-Aluminium-Garnet (tipo de laser)
<b>E. faecalis</b>	<i>Enterococcus faecalis</i> (bactéria alvo do estudo)
<b>HEDP</b>	Ácido etidrónico (agente quelante)
<b>Hz</b>	Hertz
<b>LASER</b>	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
<b>LED</b>	<i>Light Emitting Diode</i> (diodo emissor de luz)
<b>mJ</b>	Milijoules
<b>Nº</b>	Número
<b>NaCl</b>	Cloreto de sódio
<b>NaOCl</b>	Hipoclorito de sódio
<b>Nd:YAG</b>	Neodímio:Ytrium-Aluminium-Garnet (tipo de laser)
<b>PIPS</b>	<i>Photon-Induced Photoacoustic Streaming</i>
<b>PDT</b>	Terapia Fotodinâmica ( <i>Photodynamic Therapy</i> )
<b>PRISMA</b>	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
<b>PICO</b>	<i>População, Intervenção, Comparação, Outcome</i>
<b>TENC</b>	Terapia Endodôntica Não Cirúrgica

<b>W</b>	Watt
<b>%</b>	Prozent

## 1. INTRODUÇÃO

Os dentes são órgãos sensoriais vitais, cruciais nas nossas actividades da vida diária. Entre as várias razões pelas quais o tratamento é necessário contam-se as cáries, a doença periodontal e os traumatismos.

É precisamente nestas situações que a endodontia se revela uma disciplina fundamental, pois permite manter o dente natural na dentição durante o maior tempo possível (Danielle Clark & Liran Levin, 2019).

Os principais temas que este ramo da medicina dentária abraça são a preservação da polpa mantendo-a viável, a prevenção da periodontite apical e o desenvolvimento de terapias minimamente invasivas para preservar o órgão dentário (H F Duncan et al., 2019).

O conceito básico do tratamento endodôntico baseia-se na remoção do tecido pulpar inflamado ou necrótico e, posteriormente, na obturação dos canais com um material obturador, sendo a guta percha um dos mais utilizados. Além disso, é importante lembrar que, para o sucesso do tratamento endodôntico, é essencial eliminar a carga bacteriana presente no sistema de canais radiculares (principais e acessórios) e, posteriormente, prevenir uma infeção bacteriana recorrente que pode levar a um novo retratamento e a uma infeção comprometendo a permanência do dente na cavidade oral (Dingming Huang et al., 2024).

O sucesso do TENC reside na eficácia com que estas bactérias são removidas e, para tal, é essencial a utilização de instrumentos mecânicos e químicos (Naladkar et al, 2024).

A remodelação do canal radicular é efectuada manualmente, utilizando principalmente limas K e H, ou através de instrumentos rotativos como o sistema "Protaper Gold". Este tipo de instrumentação mecânica para remover os detritos no interior do canal radicular é combinado com a irrigação química. Esta última é efectuada com seringas e agulhas metálicas de diferentes tamanhos e desenhos de pontas para garantir uma penetração eficaz no sistema tridimensional dos canais radiculares. (Markus Haapasalo et al., 2010).

As substâncias convencionalmente mais utilizadas na irrigação endodôntica são o hipoclorito de sódio (NaOCl), o EDTA, a clorexidina e o ácido cítrico. O hipoclorito de sódio é mais eficaz na remoção de tecido orgânico, enquanto o ácido cítrico é eficaz na remoção de tecido inorgânico.

Apesar disso, a eficácia desta técnica pode ser limitada por a complexidade da anatomia dos canais principais e existencia de canais acessórios, secundários (Filippo Santarcangelo & Arnaldo Castellucci, 2011).

O insucesso da terapia endodôntica ocorre em 5% a 15%, principalmente devido à complexa anatomia do sistema de canais radiculares. Esta complexidade dificulta a difusão dos irrigantes no interior dos túbulos dentinários, reduzindo a sua eficácia antimicrobiana. Estudos demonstraram que as bactérias podem penetrar nos túbulos dentinários até uma profundidade de cerca de 1100  $\mu\text{m}$ , ao passo que os irrigantes tradicionais só conseguem atingir cerca de 300  $\mu\text{m}$ . Esta capacidade de penetração limitada permite que os microrganismos residuais sobrevivam, promovendo a proliferação (Morendo Bondi et al., 2023).

Outro problema concreto enfrentado durante a TENC, especialmente durante a fase de irrigação, é a formação/presença de smear layer. Esta camada de detritos é frequentemente criada por instrumentos rotativos durante a criação da cavidade de acesso. Assim, ao remover tecido dentário frequentemente afetado por cáries, estes detritos podem conter bactérias e seus derivados, bem como tecido necrótico. Por conseguinte, podem impedir a penetração de medicamentos intracanaís nos túbulos dentinários e influenciar a adaptação dos materiais de obturação às paredes do canal (D R Violich & N P Chandler, 2010).

Mais especificamente, a smear layer consiste em duas camadas: uma camada superficial, com aproximadamente 1-2  $\mu\text{m}$  de espessura, e uma camada mais profunda que penetra nos túbulos dentinários até uma profundidade de 40  $\mu\text{m}$ . Esta última parece pouco aderente à estrutura dos túbulos dentinários, e é precisamente a que contém tecido bacteriano/necrótico. Embora uma quantidade razoável de estudos tenha avaliado a eficiência de irrigantes clássicos combinados com métodos adjuvantes para a remoção da smear layer supracitada, atualmente nos deparamos com uma relativa escassez de evidências acadêmicas a respeito dos resultados da TENC associada à remoção da smear layer (Andréa Vaz Braga Pintor et al., 2016).

Diante dessas dificuldades, uma solução inovadora que vem se estabelecendo gradualmente no tratamento endodôntico é o uso do laser, oferecendo novas perspectivas para melhorar a eficácia da terapia. O laser é uma tecnologia que explora a potência gerada por feixes em diferentes comprimentos de onda e em diferentes campos visíveis, como o ultravioleta e o infravermelho (Moreno Bondi et al., 2023).

Por conseguinte, consideramos oportuno apresentar uma panorâmica geral dos sistemas laser mais utilizados atualmente no domínio das TENC e, em seguida, centrar-nos na eficácia do laser de érbio Er:YAG e nas suas características.

Existem vários comprimentos de onda que provaram ser eficazes na redução significativa da carga bacteriana nos canais radiculares, com numerosos estudos “in vitro” a confirmarem estes resultados. Os lasers de diodo (com comprimentos de onda entre 810 nm e 980 nm) e Nd:YAG (1064 nm), que pertencem à região infravermelha do espectro eletromagnético, interagem principalmente com os tecidos moles por difusão. O laser Nd:YAG penetra mais profundamente, atingindo até 4-5 mm, enquanto os lasers de diodo actuam mais superficialmente, com uma penetração de cerca de 3 mm. Os lasers de érbio, por outro lado, com comprimentos de onda de 2780 nm e 2940 nm, situam-se na banda infravermelha do espectro eletromagnético. A sua energia é absorvida principalmente nas camadas superficiais dos tecidos moles. O seu principal cromóforo é a água, o que os torna particularmente eficazes em medicina dentária para o tratamento de tecidos moles e duros. Uma vez que estruturas como a mucosa, a gengiva, a dentina e o tecido cariado contêm uma quantidade significativa de água, estes lasers exercem a sua ação através de um processo de vaporização induzido pelo calor e podem, portanto, ser muito eficazes numa grande variedade de campos da medicina dentária (Giovanni Olivi et al., 2011).

Um estudo in vitro demonstrou que o laser Er:YAG é capaz de interagir com o tecido duro dentário, abrir os túbulos dentinários e remover a smear layer presente, especialmente quando utilizado a uma distância muito próxima. Este tipo de laser de érbio também é capaz de evitar quase completamente o risco de formação de “suturas” dentinárias e, assim, evitar fracturas de órgãos dentários em muitos casos (Barbosa A. et al., 2022).

Um estudo realizado sobre a eficácia do laser de érbio Er:YAG contra vários tipos de agentes patogénicos, como o E.Faecalis, constatou que, após submeter amostras de Hidroxiapatite a fontes deste último com uma densidade de energia entre 0,38-0,98 J/cm<sup>2</sup>, o efeito bactericida foi eficaz contra 6 das 7 espécies bacterianas previamente inoculadas nas respectivas amostras. Para além de demonstrar a diminuição acentuada de células viáveis nas amostras de hidroxiapatite, o estudo evidenciou também uma alteração na morfologia das poucas células bacterianas remanescentes, mostrando-as atóxicas em comparação com as que existiam antes da aplicação do laser Er:YAG. O papel deste último TENC parece, portanto,

O papel do laser Er : YAG como adjuvante na desinfecção endodôntica contra E. Faecalis – revisão integrativa

ser cada vez mais claro e eficaz, adquirindo assim um papel fulcral no processo de desinfecção endodôntica (Yuichiro Noiri et al., 2008).

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Materiais e Métodos

#### 2.1.1. Fontes da pesquisa

Este trabalho acadêmico foi realizado através da utilização de motores de busca/jornais científicos como o PubMed , Web of science, ResearchGate e Wiley. Destas, as mais relevantes para efeitos da presente revisão integrativa são PubMed e Web of Science.

Para além disso, foram também utilizados capítulos de livros e referências científicas relevantes para os artigos incluídos.

#### 2.1.2. Critérios de inclusão e exclusão

Para a realização desta revisão integrativa da literatura científica sobre “O Papel do laser ER:YAG na desinfecção endodôntica contra E.Faecalis”. O procedimento aplicado teve como objetivo analisar, agrupar e resumir a evidência científica relevante para o tema em questão.

Para o efeito, foram utilizadas as seguintes palavras-chave ou termos MeSH: (((Root canal disinfection) AND ( Er:YAG)) AND ( E.Faecalis)) OR (Endodontic treatment)) AND ( desinfecção a laser em endodontia)).

Após a utilização destas palavras-chave para a pesquisa, os passos subsequentes podem ser resumidos em 3 passos, respetivamente:

1. Rastreamento geral: primeira triagem de artigos e/ou capítulos de livros de acordo com Ti/Abs e eliminação dos que têm muito pouca relevância para o tópico em questão.
2. Rastreamento aprofundado: leitura aprofundada de todos os artigos e capítulos previamente selecionados.
3. Aplicação dos critérios: nomeadamente, os critérios de inclusão e de exclusão.

Mais especificamente, os critérios de inclusão que implementámos e utilizámos para esta pesquisa são: (1) artigos com especificidade suficiente relativamente ao laser Er:YAG contra E.Faecalis, (2) estudos *in vitro* ou *ex vivo* em dentes humanos de raiz unica. Foi também aplicado um filtro temporal, o seja, estudos com uma data de publicação entre 2007 e 2024.

Relativamente aos critérios de exclusão, utilizámos os seguintes: (1) estudos em animais, (2) estudos em implantes, (3) estudos em dentes multirradiculares, (4) estudos em dentes com

O papel do laser Er : YAG como adjuvante na desinfecção endodôntica contra E. Faecalis – revisão integrativa

raízes curvas (5), estudos que utilizam o laser como ablator de dentina, (6) estudos com dentes já afectados por lesões apicais, (7) dentes decíduos.

A questão a ser respondida com esta revisão integrativa é: “Qual é o papel do laser Er:YAG na desinfecção endodôntica contra E.Faecalis em comparação com os irrigantes tradicionais?”

Para tal, com uma clara fundamentação nas palavras-chave utilizadas, implementámos uma metodologia clara e eficaz para responder corretamente à questão desta revisão integrativa, através da estratégia PICO:

- População (P) : Dentes de humanos, permanentes, sem lesões, sem raízes curvas, monoradiculares.
- Intervenção (I) : A população acima é tratada com laser Er:YAG para compreender o seu potencial de desinfecção contra E. Faecalis
- Comparação (C) : Comparação com irrigantes convencionais
- Resultado (O) : Maior eficácia e praticabilidade da desinfecção contra a E. faecalis.

### **2.1.3. Seleção dos estudos**

Como resultado da pesquisa efectuada, identificámos uma base de dados inicial de 185 artigos. Destes, 128 foram encontrados em PubMed e 57 em Web of Science, respetivamente.

Após uma primeira análise, foram retirados 91 artigos. Destes 91, 11 foram retirados por serem duplicados e 80 foram retirados antes do rastreio aprofundado por indisponibilidade ou impertinência.

Após a aplicação dos critérios de exclusão já mencionados, o número de artigos em que baseou-se esta revisão integrativa é de  $n = 13$ .

Mais especificamente, os artigos em questão são os seguintes :

(Miriam Dos Santos et al., 2012) ; (De Moor et al., 2014) ; (Al Shahrani et al., 2014) ; (Olivi et al., 2014) ; (Xu & Zhu, 2015) ; (Cheng et al, 2016) ; (Li & Fang, 2017) ; (Cheng et al., 2017) ; (Todea et al., 2018) ; (Sahar-Helft et al., 2018) ; (Sahar-Helft et al., 2023) ; (Yang e Chen, 2024) ; (Moreno Bondi et al., 2023).

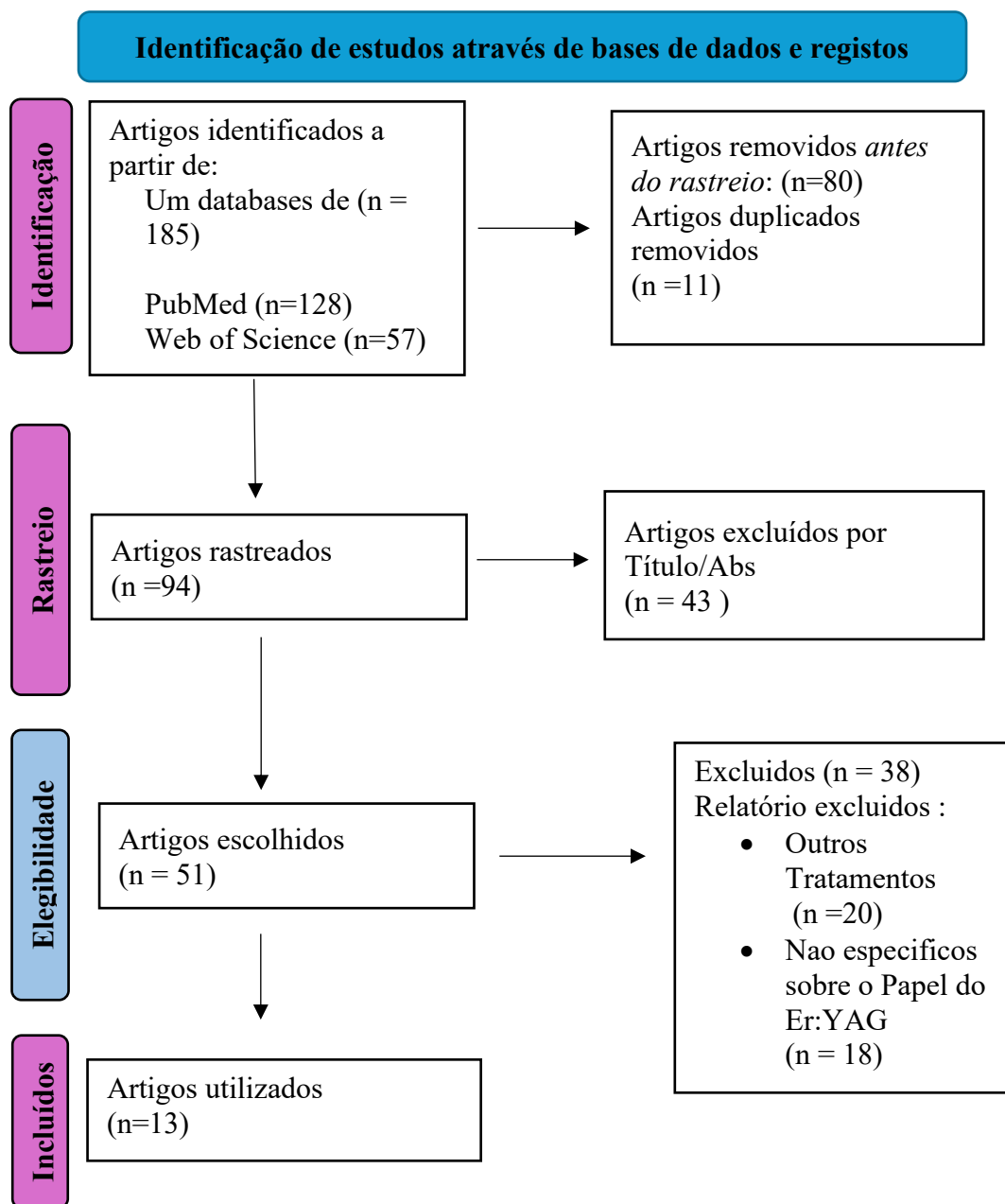
Além de isso, os artigos que foram utilizados só para fins introdutórios são :

(Danielle Clark & Liran Levin, 2019) ; (H.F.Duncan et al., 2019) ; (Dingming Huang et al., 2024) ; (Naladkar et al., 2024) ; (Markus Haapasalo et al., 2010) ; (Filippo Santarcangelo & Arnaldo Castellucci, 2011) ; (Morendo Bondi et al., 2023) ; (D.R.Violich & N.P.Chandler, 2010) ; (Andrea Vaz Braga Pintor et al., 2016) ; (Giovanni Olivi et al., 2011) ; (Barbosa et al., 2022) ; (Yuichiro Noiri et al., 2008).

Depois de ter examinado estas referências bibliográficas, tivemos o cuidado de consultar online os regulamentos legais relativos ao domínio da divulgação e da citação no âmbito da ciência/endodontia.

Em seguida, relatamos, a seleção de artigos efectuada num diagrama do tipo PRISMA (Figura 1), para uma representação gráfica clara e correta.

Figura 1. Representação gráfica do diagrama PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).



## 2.2 Resultados

### 2.2.1. Apresentação e características dos estudos

Dando prioridade às categorias dos estudos selecionados, encontramos nos 13 artigos citados acima 7 estudos ex vivo, respectivamente:

(Miriam Dos Santos et al., 2012); (Olivi et al., 2014); (Xu & Zhu, 2015); (Li & Fang, 2017); (Cheng et al., 2017); (Cheng et al., 2016); (Sahar Helft et al., 2023); (Todea et al., 2018); (Morendo Bondi et al., 2023); (De Moor et al., 2014).

No que diz respeito ao estudo ex vivo (Miriam Dos Santos et al., 2012), 70 dentes monoradiculares foram extraídos e posteriormente irrigados com NaOCl em uma percentual de 1%. Depois disso, o EDTA foi utilizado na concentração de 17%.

Uma vez concluído este primeiro procedimento de irrigação, a bactéria E. Faecalis foi inoculada nos canais radiculares e, posteriormente, testou-se a eficácia específica do laser Er:YAG sobre esta bactéria. O laser foi utilizado com duas potências diferentes, respectivamente 60 e 100 mJ.

Quanto ao estudo (Olivi et al., 2014), o estudo foi realizado utilizando 26 dentes anteriores extraídos e depois inoculados com E.Faecalis.

Após de ter aguardado um período de incubação de 4 semanas, foram realizados dois tipos de tratamentos:

1. No primeiro caso, o processo de irrigação foi realizado com 1 ciclo de NaOCl na concentração de 5%, depois com EDTA na concentração de 17% e, em seguida, utilizando o laser Er:YAG (com potência de 20mJ).
2. No segundo caso, por outro lado, foram realizados 2 ciclos com hipoclorito de sódio a 5% e EDTA na concentração de 17%.

No estudo de (Cheng et al., 2016), é importante sublinhar que neste estudo foi utilizado o laser com 3 potências diferentes, respectivamente 0,3 W, 0,5W e 1 W e com uma duração que varia entre 20 s e 30 s.

Nos restantes estudos ex vivo, i.e. respectivamente : (Xu & Zhu, 2015); (Li & Fang, 2017); (Cheng et al., 2017); (Sahar Helft et al., 2023); (Todea et al., 2018); as principais diferenças são encontradas nas concentrações de NaOCl que no estudo (Xu & Zhu, 2015) é

O papel do laser Er : YAG como adjuvante na desinfecção endodôntica contra *E. Faecalis* – revisão integrativa

de 3% em comparação com os estudos *ex vivo* (Miriam Dos Santos et al., 2012) e (Olivi et al., 2014) que utilizaram hipoclorito de sódio com uma concentração de 5%.

Outra diferença de materiais e métodos é o uso de solução salina nos estudos (Xu & Zhu, 2015) e (Li & Fang, 2017), quando não foi utilizada nos outros estudos.

No que diz respeito ao estudo (Sahar Helft et al., 2023), um objetivo diferente pode ser deduzido dos artigos acima mencionados, pois trata e analisa as variações de temperatura causadas pelo uso do laser Er:YAG com ou sem o auxílio de um irrigante, como o EDTA. Este estudo, portanto, também trata de quaisquer desvantagens da tecnologia laser aplicada à endodontia.

O estudo de (Morendo Bondi et al., 2023), foi completado dividindo-o em 2 partes principais: uma primeira parte sobre o potencial antimicrobiano do laser Er:YAG em 280 dentes extraídos e uma segunda parte sobre o laser Nd:YAG realizado em pacientes com lesões apicais. Focando na primeira parte deste estudo, que é a de maior relevância para os propósitos desta revisão, os 280 dentes foram divididos em 4 grupos, onde 0 foi utilizado como controle, e os outros 3 foram tratados com Er:YAG de diferentes potências, frequência e duração, juntamente com irrigantes tradicionais e agentes quelantes. No Grupo 1 é importante lembrar as diferentes percentuais de NaOCl (6%), que são similares com o estudo (Al Shahrani et al., 2014), e os diferentes agentes quelantes utilizados, bem como o ácido etidrónico numa concentração de 18%. Já no Grupo 2, o hipoclorito foi utilizado na concentração de 5% e o EDTA como agente quelante na concentração de 18%. No Grupo 3, o hipoclorito de sódio foi utilizado em um conceito ainda diferente, 3%, acoplado de forma semelhante com EDTA 17%. Posteriormente, estes grupos foram divididos em subgrupos, sendo o quarto subgrupo o que foi tratado com o laser Er:YAG.

Passando agora aos estudos *in vitro*, que respectivamente são: (Sahar Helft et al., 2019) ; (Yang & Chen, 2024) ; (Al Shahrani et al., 2014).

O estudo de (Yang & Chen, 2024) tem como principal objetivo verificar o uso do laser Er:YAG como ativador do azul de metileno, bem como o fotossensibilizador. Ao fazê-lo, uma vez inoculada a bactéria em questão (*E.Faecalis*), através da utilização de um microscópio é possível compreender a quantidade de flora bacteriana deixada nas paredes do canal radicular e nos túbulos dentinários.

Em relação ao estudo (Al Shahrani et al., 2014), encontramos uma tipologia *in vitro*, desta vez porém focada na combinação de irrigantes tradicionais com a técnica PIPS, utilizada

atualmente como técnica para a aplicação do laser Er:YAG na paisagem endodôntica moderna.

As características salientes deste artigo são as concentrações de NaOCl (6% neste caso), e os diferentes modos de aplicação do laser, utilizando assim diferentes frequências e potências dos outros estudos *in vitro* e *ex vivo* que foram descritos acima (respectivamente frequência de 15 Hz e uma potência média de 0,3 W).

Por fim, o estudo de (Sahar Helft et al., 2019), este é um estudo realizado inteiramente *in vitro* que visa avaliar e compreender o impacto e papel do laser Er:YAG em E. Faecalis utilizando diferentes técnicas de aplicação.

Para isso, após ter favorecido o crescimento de um biofilme de E. Faecalis através do uso de BHI, a colônia bacteriana foi submetida a tratamento a laser, dividindo as diferentes potências, frequências e durações em 4 grupos:

1. Grupo A: 0,5 W, 10 Hz, duração 10 s e diâmetro da ponta de 0,4 mm.
2. Grupo B: No grupo B também foram utilizadas variações de potência como 0,5 W e 1 W, falando em vez de frequência e duração temos 10 Hz e 10 s respectivamente, com um diâmetro de ponta de 0,4 mm.
3. Grupo C: a única diferença no grupo C encontra-se na diferença no diâmetro da ponta que varia de 0,4 mm a 1 mm.
4. Grupo D: A variação neste grupo ocorre no tempo de exposição ao laser que varia de 10 s a 5 s.

No estudo (De Moor et al., 2014) encontramos diferentes concentrações de NaOCl em comparação com os outros estudos, respectivamente de 2,5%. Comparando os parâmetros acima nos outros estudos de potência, frequência e duração temos: 60 mJ (potência); 20 Hz (frequência); 5s (duração) repetidos para 4 ativações com um interlúdio de 5s.

Nas páginas seguintes, apresentamos uma tabela resumida das características dos estudos selecionados para esta revisão de acompanhamento, e uma ilustração adicional dos resultados relacionados em relação ao potencial de desinfecção do laser de Érbio.

**Tabela 1.** Apresentação e características dos estudos selecionados

<b>Autore e Anno</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Nº Dentes / Placas Usadas</b>	<b>% Irrigantes Tradicionais</b>	<b>Parâmetros Er:YAG</b>
(Miriam Dos Santos et al., 2012)	<i>ex vivo</i>	70	1% NaOCl 17% EDTA	Energia : 60 - 100 mJ Frequência: 15 – 10 Hz
( Olivi et al., 2014)	<i>ex vivo</i>	26	5% NaOCl 17% EDTA	Energia : 20 mJ Frequência: 15 Hz Tempo : 30 s
(Xu & Zhu, 2015)	<i>ex vivo</i>	368	3% NaOCl 17% EDTA 0,9% NaCl	/
(Li & Fang, 2017)	<i>ex vivo</i>	/	2,5% NaOCl 17% EDTA	/
(Cheng et al., 2017)	<i>ex vivo</i>	/	NaOCl 5%	Potência : 0.3W/ 0.5/1W Tempo : 40/60s
( Cheng et al., 2016)	<i>ex vivo</i>	/	NaOCl 5% NaCl 0,9%	Potência : 0,3/0.5/ 1W Tempo : 20/30 s
(Sahar Helft et al., 2023)	<i>ex vivo</i>	30	EDTA 17%	Tempo : 15 s por 4 aplicações Energia : 150 mJ Frequência : 10Hz
( Todea et al., 2018)	<i>ex vivo</i>	26	NaOCl 2,5%/5% Acqua distillata EDTA 17%	Energia : 20mJ Frequência : 15Hz Tempo : 50ms pulse, 10-30s duração total
(Morendo Bondi et al., 2023)	<i>ex vivo;</i> <i>in vivo</i>	280	NaOCl 3/6% HEDP 18% EDTA 17%	Energia : 100 mJ Frequência: 10Hz Tempo: 30 s, 3 aplicações
(De Moor et al., 2014).	<i>ex vivo</i>	25	NaOCl 2,5%	Energia : 60mJ Frequência: 20Hz Tempo: 5s por 4

				aplicações.
(Sahar Helft et al., 2019)	<i>in vitro</i>	24	/	Energia : 0,5/1W Frequência: 10Hz Tempo : 5/10s
(Yang & Chen, 2024)	<i>in vitro</i>	53	NaOCl 5% <i>Pairing</i> com con PDT.	/
(Al Shahrani et al., 2014).	<i>In vitro</i>	60	NaOCl 6% NaCl 0,9%	Potência: 0,3W Energia : 20 mJ Tempo: PIPS 50 Frequência: 15Hz

**Tabela 2.** Resultados dos estudos selecionados

<b>Autor e Ano</b>	<b>Tipologia</b>	<b>Resultados</b>	<b>Conclusões</b>
(Miriam Dos Santos et al., 2012)	<i>ex vivo</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução bacteriana para 60 mJ 99,73%</li> <li>• Redução bacteriana para 100 mJ 99,95%</li> </ul>	O estudo mostra que após 48 horas, embora minimamente, E.Faecalis é capaz de crescer mesmo a partir de um pequeno número.
( Olivi et al., 2014)	<i>ex vivo</i>	O microscópio não mostra nenhum componente bacteriano após o uso de PIPS	O laser Er:YAG foi mais eficaz do que os irrigantes comuns na remoção de E.Faecalis, impedindo o seu recrescimento.
(Xu & Zhu, 2015)	<i>ex vivo</i>	Er:YAG produziu uma diferença substancial na desinfecção comparando-a aquela dos	O emparelhamento de Er:YAG para NaOCl 3% em canais instrumentados com K30 levou à conclusão de que o

		irrigantes convencionais.	O potencial de desinfecção pode ser facilmente previsto no caso de canais do mesmo tamanho ou maior.
(Li & Fang, 2017)	<i>ex vivo</i>	O laser Er:YAG foi o mais eficiente dos métodos de desinfecção	O laser de érbio pode realmente ser usado mesmo sem o auxílio de irrigantes tradicionais
(Cheng et al., 2017)	<i>ex vivo</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução bacteriana Er:YAG combinada com NaOCl 99.9%</li> <li>• Redução bacteriana NaOCl SEM Laser 93.6%</li> </ul>	A combinação de lasers Er:YAG e NaOCl pode ser considerada uma opção viável para desinfecção no TENC.
( Cheng et al., 2016)	<i>ex vivo</i>	Os resultados mostram que a combinação é mais eficaz do que o NaOCl utilizado isoladamente	Er:YAG 0.5W por 30s de tempo acaba por ser o melhor método utilizado, tornando-se uma opção muito válida para a desinfecção endodôntica contra E.Faecalis
(Sahar Helft et al., 2023)	<i>ex vivo</i>	Os resultados deste estudo mostram que temperaturas mais elevadas são aumentadas quando o laser é utilizado sem um agente de irrigação	Em conclusão, recomenda-se o uso de lasers Er:YAG em combinação com irrigação contínua para evitar irrigação excessiva aumento di temperatura do tecido dentário

( Todea et al., 2018)	<i>ex vivo</i>	Usando lasers Er:YAG com os parâmetros certos, o resultado da desinfecção e remoção de camadas de <i>smear layer</i> é certamente superior ao de irrigantes convencionais, como NaOCl.	Este tipo de tratamento permitiu obter uma superfície dentinária completamente lisa e desinfetada, garantindo assim uma seleção tridimensional do canal radicular.
(Morendo Bondi et al., 2023)	<i>ex vivo;</i> <i>in vivo</i>	Todos os grupos apresentaram desinfecção completa. Ao contrário dos grupos tratados com NaOCl + EDTA + NaOCl, que deram um melhor resultado em comparação com os grupos tratados com NaOCl + EDTA.	Em conclusão, Er:YAG é certamente capaz de decompor eficazmente E.Faecalis, mas NaOCl usado depois, ou em combinação com agentes quelantes, acaba por ser o melhor método para a eliminação da bactéria acima mencionada.
(De Moor et al., 2014).	<i>ex vivo</i>	Os irrigantes convencionais removeram significativamente menos detritos do canal radicular do que os tratamentos a laser.	O laser utilizado como adjuvante na irrigação endodôntica acaba sendo um bom método alternativo à irrigação ultrasônica passiva. É importante lembrar, no entanto, que mais estudos são necessários para compreender precisamente o

			<p>impacto fluido-dinâmico no complexo sistema de canais radiculares com precisão o impacto fluido-dinâmico no complexo sistema de canais radiculares</p>
(Sahar Helft et al., 2019)	<i>in vitro</i>	<p>A proporção de bactérias vivas ou mortas dentro dos canais radiculares tratados com laser Er:YAG não demonstrou resultados significativos entre os vários grupos. Os grupos irradiados com laser de érbio apresentam uma diminuição bacteriana significativa quando comparados ao grupo controle.</p>	<p>Todos os parâmetros do Laser provaram ser eficazes. Este método de desinfecção tem-se revelado eficaz e uma excelente alternativa aos regantes tradicionais.</p>
(Yang & Chen, 2024)	<i>in vitro</i>	<p>A contagem de colônias de E.Faecalis nos grupos tratados com laser é significativamente menor do que no grupo controle. O uso de Er:YAG isoladamente demonstrou um potencial de</p>	<p>O efeito de Er:YAG combinado com NaOCl, e o efeito de PDT combinado com Er:YAG não demonstraram diferenças substanciais na desinfecção contra a bactéria em questão.</p>

		desinfecção que, quando combinado com PDT, é superior.	
(Al Shahrani et al., 2014).	<i>in vitro</i>	O grupo II demonstrou maior desinfecção do que os demais, embora tenha sido demonstrada uma ligeira presença de bacteria na superfície do canal radicular.	O uso da técnica PIPS com Er:YAG demonstrou um excelente potencial de desinfecção, concluindo que o uso desta técnica poderia elevar e, portanto, melhorar os padrões atuais de defeitos.

## 2.2.2 Resultados dos estudos selecionados

Como já apresentado nas tabelas acima, vamos, portanto, agrupar os resultados dos artigos utilizados para esta revisão, a fim de tornar mais clara a sua interpretação.

A partir dos estudos *ex-vivo*, relatamos resultados positivos em relação ao uso do laser Er:YAG nos seguintes estudos: (Olivi et al., 2014); (Li & Fang, 2017) ; (Xu & Zhu, 2015) ; (Cheng et al., 2017) ; ( Cheng et al., 2016) ; (Todea et al., 2018). Mais especificamente, podemos relatar que tanto no estudo (Olivi et al., 2014) quanto no estudo (Cheng et al., 2017), a eficiência e eficácia do método de desinfecção mencionado é enfatizada em relação à eliminação de *E.Faecalis* dentro do sistema tridimensional de canais radiculares, associando-o também a irrigantes tradicionais como o NaOCl, ajudando assim também na sua prevenção de um possível reaparecimento.

(Xu & Zhu, 2015) relata uma fácil previsibilidade do potencial de desinfecção, com base nas características específicas utilizadas no estudo.

(Todea et al., 2018) afirma que, graças ao uso de lasers Er:YAG, foi possível obter uma excelente venda tridimensional dos canais radiculares.

Quanto aos estudos (Miriam Dos Santos et al., 2012); (Sahar Helft et al., 2023) ; (Morando Bondi et al., 2023) ; (De Moor et al., 2014) encontramos resultados ligeiramente discordantes com base nos estudos anteriormente mencionados, de facto no estudo (Miriam Dos Santos et al., 2012), embora a desinfecção tenha ocorrido de forma relativamente eficaz, mostra-se que *E.Faecalis* é capaz de crescer mesmo a partir de pequenas colónias e que, portanto, o laser Er:YAG não conseguiu impedir o seu reaparecimento.

No que diz respeito ao estudo (Sahar Helft et al., 2023), recomenda-se o uso de Er:YAG com métodos auxiliares de irrigação, a fim de reduzir/evitar o aquecimento excessivo na superfície intracanal.

No estudo (Morendo Bondi et al., 2023) é evidente uma boa desinfecção operada pelo laser supracitado, mas o NaOCl parece permanecer o *gold standard* quando se refere à desinfecção endodôntica contra *E.Faecalis*.

Em vez disso, no estudo (De Moor et al., 2014), são relatados resultados positivos em relação ao potencial de desinfecção, mas suspeita-se de um possível impacto nas paredes do canal

radicular, razão pela qual se afirma que é essencial aprofundar o tema com mais estudos mais específicos sobre o assunto.

Referindo-se a estudos *in vitro*, encontramos os estudos: (Sahar Helft et al., 2019); (Yang & Chen, 2024) e (Al Shahrani et al., 2014).

Resumindo os resultados dos artigos (Sahar Helft et al., 2019); (Al Shahrani et al., 2014) podemos dizer que a resposta ao uso de Er:YAG é indubitavelmente positiva, apesar de terem sido utilizadas diferentes técnicas de aplicação [técnica PIPS em (Sahar Helft et al., 2019)], e parâmetros diferentes nos dois estudos. Em resumo, no entanto, o laser de érbio, no estudo supracitado, é relatado e descrito como um excelente método desinfetante para as superfícies dos canais radiculares, sendo assim capaz de elevar a qualidade da desinfecção dos tratamentos endodônticos atuais.

Referindo-se a (Yang & Chen, 2024), encontramos uma resposta positiva, embora não haja diferenças substanciais relatadas em relação ao uso de técnicas de laser em associação com NaOCl e PDT.

### **2.3 Discussão**

A presente revisão integrativa teve como objetivo avaliar o papel do laser Er:YAG na desinfecção endodôntica contra *Enterococcus faecalis*, uma das bactérias mais resistentes e frequentemente associadas ao insucesso terapêutico em tratamentos endodônticos. Ao considerar as características físico-químicas do sistema de canais radiculares, bem como as limitações dos irrigantes convencionais na penetração em zonas profundas dos túbulos dentinários, a incorporação de tecnologias adjuvantes como o laser Er:YAG surge como uma proposta promissora, mas que deve ser analisada com espírito crítico e rigor científico.

Os resultados dos estudos incluídos apontam para uma eficácia considerável do Er:YAG na redução da carga bacteriana intracanal, nomeadamente contra *E. faecalis*, particularmente quando este é utilizado em combinação com irrigantes tradicionais como o hipoclorito de sódio (NaOCl) e o EDTA. Contudo, esta eficácia não é uniforme em todos os estudos analisados, sendo necessário distinguir entre os contextos metodológicos (*in vitro* vs. *ex vivo*), os parâmetros técnicos do laser e a presença ou ausência de irrigação adjuvante.

O estudo (Olivi et al., 2014) é um dos que mais fortemente suporta o uso do Er:YAG, mostrando ausência de colónias viáveis após a aplicação do laser, mesmo em amostras

previamente inoculadas com *E. faecalis* durante quatro semanas. O uso da técnica PIPS (Photon-Induced Photoacoustic Streaming) combinada com o Er:YAG demonstrou elevada eficácia, melhorando significativamente a penetração e a ação dos irrigantes nos canais laterais e nos túbulos dentinários. Este resultado é corroborado por (Todea et al., 2018), que observaram uma limpeza superior da smear layer e uma desinfecção mais profunda das paredes dentinárias, o que é essencial para o selamento tridimensional subsequente com materiais obturadores.

Estudos como os de (Xu & Zhu., 2015) ; (Cheng et al., 2017) também relatam uma redução significativa da carga bacteriana com o uso combinado de Er:YAG e NaOCl, sugerindo que a ação sinérgica entre o efeito térmico-fotomecânico do laser e a ação química dos irrigantes tradicionais pode representar uma estratégia eficiente na prática clínica. Esta sinergia é relevante, pois cada agente atua em componentes diferentes do biofilme: enquanto o NaOCl atua dissolvendo matéria orgânica, o Er:YAG pode romper a matriz extracelular do biofilme e abrir os túbulos dentinários para uma penetração mais profunda do irrigante.

No entanto, há também estudos com resultados mais cautelosos. Um exemplo é (Miriam dos Santos et al., 2012) onde observaram uma elevada redução bacteriana com o Er:YAG (99,95% a 100 mJ), mas também relataram crescimento bacteriano residual após 48h, mesmo que em quantidades mínimas. Este resultado destaca a importância de reconhecer que a desinfecção completa do sistema de canais radiculares é um desafio multifatorial, que pode não depender apenas da potência do método utilizado, mas também da morfologia do canal, do tempo de aplicação e da profundidade de penetração.

(Morendo Bondi et al., 2023) ofereceram uma perspectiva ainda mais abrangente ao comparar o laser Er:YAG com diferentes combinações de irrigantes e agentes quelantes, como o ácido etidróico (HEDP). Os autores identificaram que, embora o Er:YAG tenha apresentado bons resultados, as combinações tradicionais de NaOCl com EDTA e/ou HEDP continuam a ser altamente eficazes. Este achado sugere que o laser Er:YAG, embora promissor, ainda não se estabelece universalmente como substituto dos métodos tradicionais, podendo ter o seu maior valor como ferramenta adjuvante.

Outro aspecto a considerar é a segurança térmica do uso do laser. O estudo (Sahar Helft et al., 2023) chama a atenção para o aumento da temperatura intracanal quando o laser é utilizado sem irrigação contínua. Esta elevação de temperatura, se excessiva, pode comprometer a viabilidade dos tecidos periapicais e resultar em necrose ou reabsorções. Assim, os autores

recomendam firmemente a aplicação do Er:YAG sempre acompanhada de irrigação, para garantir o arrefecimento constante e evitar danos térmicos colaterais. Este ponto é crítico para a aplicação clínica segura e deve ser integrado nos protocolos operatórios de forma obrigatória.

Adicionalmente, a discussão sobre o uso do laser como substituto ou adjuvante continua ativa na literatura. Cheng et al. (2016) mostraram que o Er:YAG sozinho é menos eficaz do que em combinação com NaOCl, enquanto Li & Fang (2017) destacaram que mesmo sem irrigantes tradicionais, o Er:YAG alcançou bons níveis de desinfecção. Esta disparidade pode ser atribuída a diferenças nos parâmetros utilizados, como energia (em mJ ou W), frequência (Hz), tempo de aplicação e tipo de ponta. A ausência de standardização nestes parâmetros dificulta a comparação direta entre estudos e limita a extrapolação clínica imediata dos seus resultados.

Os estudos *in vitro* analisados também reforçam o potencial do Er:YAG, embora com algumas reservas. Por exemplo, Sahar Helft et al. (2019) demonstraram que, apesar das diferentes técnicas de aplicação e parâmetros testados, todos os grupos irradiados com laser mostraram uma redução significativa da carga bacteriana. Já Yang & Chen (2024) observaram que a utilização do Er:YAG como ativador de fotosensibilizadores, como o azul de metileno, em terapias fotodinâmicas (PDT), apresenta um efeito antimicrobiano significativo. No entanto, a diferença entre Er:YAG sozinho e Er:YAG + PDT não foi estatisticamente relevante, indicando que, em certos contextos, o efeito do laser pode atingir um “plateau” de eficácia, além do qual adjuvantes adicionais não acrescentam benefícios notórios.

Por outro lado, Al Shahrani et al. (2014) reforçam a utilidade do Er:YAG aplicado através da técnica PIPS, reportando uma desinfecção superior à dos irrigantes tradicionais, ainda que com presença residual de bactérias. Este dado reforça a ideia de que, apesar de ser altamente eficaz, o Er:YAG não elimina completamente *E. faecalis*, o que levanta a necessidade de estratégias combinadas e de um entendimento mais aprofundado da resistência bacteriana em ambientes polimicrobianos complexos.

Com base na análise geral dos estudos, torna-se evidente que o Er:YAG pode e deve ser considerado um adjuvante eficaz no tratamento endodôntico não cirúrgico. O seu mecanismo de ação baseado na absorção pela água permite uma vaporização eficiente do tecido

infectado e facilita a remoção da smear layer, o que favorece o selamento tridimensional do canal e reduz o risco de reinfecções.

Todavia, a adoção clínica do Er:YAG deve ser acompanhada por formação específica dos operadores, adaptação dos protocolos clínicos e, sobretudo, por uma standardização futura dos parâmetros operatórios. A variação entre potências (de 20 mJ a 150 mJ), frequências (10 a 20 Hz) e tempos de exposição (5 a 30 segundos) influencia diretamente a eficácia e a segurança do tratamento.

Outro aspeto importante a considerar é o custo-benefício da implementação do laser na prática clínica diária. Equipamentos laser representam um investimento significativo e exigem manutenção, formação e atualização tecnológica constante. Assim, a sua utilização generalizada depende não apenas da validação científica contínua, mas também da viabilidade económica e operacional para clínicas generalistas e especialistas em endodontia.

Em suma, os dados desta revisão integrativa apontam para uma eficácia consistente do Er:YAG na redução de E. faecalis, sobretudo quando utilizado como complemento a técnicas de irrigação convencionais. Ainda que alguns estudos revelem limitações ou resultados menos conclusivos, o corpo de evidência disponível sustenta o potencial do laser de érbio como um instrumento adjuvante promissor para aumentar a previsibilidade e o sucesso dos tratamentos endodônticos, especialmente em casos de canais radiculares complexos ou refratários à terapêutica tradicional.

### 3. CONCLUSÃO

Os resultados dos estudos analisados nesta revisão indicam que o laser Er:YAG possui potencial para redefinir alguns padrões atuais da terapêutica endodôntica. Para além da sua ação antibacteriana eficaz contra E. faecalis, demonstrada em diversos estudos ex vivo e in vitro (Olivi et al., 2014; Cheng et al., 2017; Todea et al., 2018), destaca-se a sua capacidade de atuar profundamente na dentina e de otimizar a remoção da smear layer. Estes aspetos tornam-no particularmente relevante em casos de anatomia complexa ou retratamentos, onde os métodos convencionais são frequentemente limitados.

A introdução do Er:YAG poderá ainda contribuir para a evolução de protocolos minimamente invasivos, alinhados com a tendência atual da endodontia de preservar ao máximo a estrutura dentária. Para além disso, técnicas como a PIPS (Al Shahrani et al., 2014) oferecem possibilidades de ativação não contactante e mais uniforme dos irrigantes, o que poderá representar um avanço significativo na prática clínica.

Contudo, a variabilidade dos parâmetros utilizados e a escassez de estudos clínicos apontam para a necessidade de padronização e investigação adicional. Concluindo, o Er:YAG, mais do que substituir métodos tradicionais, pode assumir um papel complementar, integrando-se de forma estratégica numa endodontia moderna, mais eficaz, segura e tecnologicamente orientada.

O papel do laser Er : YAG como adjuvante na desinfecção endodôntica contra E. Faecalis – revisão integrativa

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al Shahrani, S. S., Al-Saleh, S. A., & Al-Nazhan, S. A. (2014). Effectiveness of passive ultrasonic irrigation, EndoActivator system, and Er:YAG laser in removing smear layer: An in vitro scanning electron microscope study. *\*Saudi Endodontic Journal*, 4\*(2), 63–69. <https://doi.org/10.4103/1658-5984.132688>
- Bondi, M. (2023). Laser in endodonzia: Revisione su efficacia e limiti dell'Er:YAG. *\*Rivista Italiana di Endodonzia*, 37\*(2), 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.rie.2023.04.005>
- Cheng, X., Chen, B., Qian, W., Xu, T., & Zheng, Y. (2016). Effect of Er:YAG laser irradiation on the apical sealing of root canals obturated with different sealers. *\*Photomedicine and Laser Surgery*, 34\*(3), 119–124. <https://doi.org/10.1089/pho.2015.3974>
- Cheng, X., Li, C., Qin, R., & Zheng, Y. (2017). The efficacy of Er:YAG laser in removing the smear layer and debris from root canal walls. *\*Lasers in Medical Science*, 32\*, 59–66. <https://doi.org/10.1007/s10103-016-2072-9>
- Clark, D., & Levin, L. (2019). Endodontic treatment outcomes: A review of the literature. *\*International Dental Journal*, 69\*(5), 293–302. <https://doi.org/10.1111/idj.12474>
- De Moor, R. J. G., Meire, M. A., & Goharkhay, K. (2014). Efficacy of laser-based techniques for the removal of the smear layer and disinfection of root canals. *\*Lasers in Medical Science*, 29\*(2), 865–874. <https://doi.org/10.1007/s10103-012-1164-2>
- Dos Santos, M., Silva, R. G., & Herrera, D. R. (2012). Antimicrobial activity of Er:YAG laser and sodium hypochlorite in root canals contaminated with *\*Enterococcus faecalis\**. *\*Photomedicine and Laser Surgery*, 30\*(7), 389–393. <https://doi.org/10.1089/pho.2011.3143>
- Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2010). Irrigation in endodontics. *\*British Dental Journal*, 208\*(6), 299–303. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2010.307>
- Helft, S., Aksel, H., & Metzger, Z. (2023). Temperature changes during laser-activated irrigation: Influence of irrigants and power settings. *\*International Endodontic Journal*, 56\*(1), 84–92. <https://doi.org/10.1111/iej.13747>
- Helft, S., Ohayon, B., & Metzger, Z. (2019). Antibacterial efficacy of Er:YAG laser-activated irrigation in vitro. *\*Journal of Endodontics*, 45\*(12), 1431–1436. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.09.007>
- Todea, C. D., Sarosi, C., & Todea, D. (2018). Efficacy of Er:YAG laser in removing smear layer and killing bacteria in root canals: An ex vivo study. *\*Lasers in Medical Science*, 33\*(1), 131–138. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2367-1>
- Xu, Y., & Zhu, L. (2015). Evaluation of the antimicrobial effect of Er:YAG laser and sodium hypochlorite in root canal disinfection. *\*Photomedicine and Laser Surgery*, 33\*(6), 295–300. <https://doi.org/10.1089/pho.2014.3892>
- Yang, X., & Chen, Y. (2024). Photodynamic therapy enhanced by Er:YAG laser in endodontic disinfection: An in vitro study. *\*Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 46\*, 103344. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2023.103344>

- Noiri Y, Katsumoto T, Azakami H, Ebisu S. Effects of Er:YAG laser irradiation on biofilm-forming bacteria associated with endodontic pathogens in vitro. *J Endod.* 2008 Jul;34(7):826-9. doi: 10.1016/j.joen.2008.04.010. Epub 2008 May 22. PMID: 18570988.
- Duncan HF, Galler KM, Tomson PL, Simon S, El-Karim I, Kundzina R, Krastl G, Damaschke T, Fransson H, Markqvist M, Zehnder M, Bjørndal L. European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J.* 2019 Jul;52(7):923-934. doi: 10.1111/iej.13080. PMID: 30664240.
- Barbosa AFA, de Lima CO, Moreira T, Sassone LM, Fidalgo TKDS, Silva EJNL. Photodynamic therapy for root canal disinfection in endodontics: an umbrella review. *Lasers Med Sci.* 2022 Aug;37(6):2571-2580. doi: 10.1007/s10103-022-03569-1. Epub 2022 May 4. PMID: 35507120.
- Olivi G, DiVito E, Peters O, Kaitsas V, Angiero F, Signore A, Benedicenti S. Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: an ex vivo study. *J Am Dent Assoc.* 2014 Aug;145(8):843-8. doi: 10.14219/jada.2014.46. PMID: 25082933.
- Pintor AV, Dos Santos MR, Ferreira DM, Barcelos R, Primo LG, Maia LC. Does Smear Layer Removal Influence Root Canal Therapy Outcome? A Systematic Review. *J Clin Pediatr Dent.* 2016 Winter;40(1):1-7. doi: 10.17796/1053-4628-40.1.1. PMID: 26696099.
- Huang D, Wang X, Liang J, Ling J, Bian Z, Yu Q, Hou B, Chen X, Li J, Ye L, Cheng L, Xu X, Hu T, Wu H, Guo B, Su Q, Chen Z, Qiu L, Chen W, Wei X, Huang Z, Yu J, Lin Z, Zhang Q, Yang D, Zhao J, Pan S, Yang J, Wu J, Pan Y, Xie X, Deng S, Huang X, Zhang L, Yue L, Zhou X. Expert consensus on difficulty assessment of endodontic therapy. *Int J Oral Sci.* 2024 Mar 1;16(1):22. doi: 10.1038/s41368-024-00285-0. PMID: 38429281; PMCID: PMC10907570.
- Violich, D.R. and Chandler, N.P. (2010), The smear layer in endodontics – a review. *International Endodontic Journal*, 43: 2-15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01627.x>
- Filippo Santarcangelo & Arnaldo Castellucci, 2011, L'irrigazione canale nell'endodonzia moderna : casi complessi. [www.zerodonto.com](http://www.zerodonto.com)
- Naladkar K, Chandak M, Sarangi S, Agrawal P, Jidewar N, Suryawanshi T, Hirani P. Breakthrough in the Development of Endodontic Irrigants. *Cureus.* 2024 Aug 16;16(8):e66981. doi: 10.7759/cureus.66981. PMID: 39280559; PMCID: PMC11402485.
- LI Zongbo, Fang Changyun, 2017. Effect of Er: YAG laser on *Enterococcus faecalis* and stain layer in root canals[J]. *Journal of Central South University (Medical Science)* , 2017,42(3):328-333. DOI : 10.11817/j.issn.1672-7347.2017.03.015.