



UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA

DA TRADIÇÃO À INOVAÇÃO: IRRIGANTES ALL-IN-ONE EM ENDODONTIA - REVISÃO SISTEMÁTICA

[From Tradition to Innovation: All-in-One Irrigators in Endodontics – A Systematic
Review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Andrea Abate

Orientador:

Doutor Duarte Nuno Antunes Guimarães

Junho 2026

DA TRADIÇÃO À INOVAÇÃO: IRRIGANTES ALL-IN-ONE EM ENDODONTIA - REVISÃO SISTEMÁTICA

[From Tradition to Innovation: All-in-One Irrigators in Endodontics – A Systematic
Review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Andrea Abate

Orientador:

Doutor Duarte Nuno Antunes Guimarães

Junho 2026

A mio padre, che con il suo esempio mi ha insegnato il valore della determinazione, del sacrificio e del duro lavoro.

A mia madre, per l'amore incondizionato, la forza e il sostegno con cui mi ha accompagnato in ogni passo di questo percorso.

A Francesca, per aver condiviso con me gioie, paure e sacrifici, senza mai smettere di sostenermi. Grazie per il tuo amore, la tua pazienza e per essermi stata accanto in ogni momento.

AGRADECIMENTOS

Desidero ringraziare tutte le persone che, con la loro presenza, il loro affetto e il loro sostegno, hanno reso possibile il raggiungimento di questo importante traguardo. Questo percorso universitario non è stato soltanto un cammino di studio e crescita personale, ma anche un insieme di sacrifici, difficoltà, emozioni e conquiste condivise con chi mi è stato accanto ogni giorno.

Il primo e più grande ringraziamento va ai miei genitori. A voi devo tutto: l'amore incondizionato, i sacrifici silenziosi, la forza che mi avete trasmesso e la fiducia con cui avete sempre sostenuto ogni mia scelta. Mi avete dato la possibilità di inseguire i miei obiettivi senza mai farmi mancare il vostro appoggio, anche nei momenti più difficili. Se oggi sono arrivato fin qui, è soprattutto grazie a voi.

Al mio caro nonno Francesco, per i valori, l'affetto e gli insegnamenti che mi ha lasciato e che porterò sempre con me, dentro e fuori da questo percorso.

A mio zio Marco, che è stato per me molto più di uno zio: una presenza costante, una guida e un secondo padre. Grazie per esserci sempre stato, anche a distanza, e per tutti quei ricordi che custodisco ancora oggi con affetto: dai pomeriggi trascorsi insieme alle partite alla Wii, che hanno reso la mia infanzia ancora più bella.

Ai miei fratelli, Fabio, Roberta e Daria, con cui ho condiviso ogni fase della mia crescita: le risate, le discussioni, i momenti difficili e quelli più felici. Ognuno di voi ha lasciato qualcosa di importante dentro di me e ha contribuito, a modo proprio, alla persona che sono oggi.

Un pensiero speciale va al piccolo Rocco, che con la sua spontaneità e il suo sorriso riesce sempre a rendere speciale ogni momento trascorso insieme.

Alla mia fidanzata Francesca, che ha condiviso con me non solo gli anni universitari, ma anche tutto ciò che c'era dietro: la stanchezza, le paure, le giornate difficili e le soddisfazioni più belle. Grazie per la pazienza, per la comprensione e per essere stata il mio equilibrio nei momenti in cui ne avevo più bisogno. Averti accanto ha reso questo percorso più leggero e ogni traguardo ancora più significativo.

Ringrazio con affetto la maestra Giovanna, che negli anni della scuola è stata per me una guida fondamentale e una seconda madre, contribuendo in modo importante alla mia crescita personale e formativa.

Un grazie sincero ai miei amici. A Riccardo, con cui ho condiviso anni di quotidianità, momenti spensierati e difficoltà affrontate insieme. A Valerio, entrato nella mia vita quasi al termine di questo percorso, ma capace, nel momento più importante, di fare davvero la differenza con la sua vicinanza, il suo sostegno e la sua presenza costante.

A Gianmarco, conosciuto quasi per caso e diventato nel tempo un fratello, sempre pronto a sostenermi, incoraggiarmi e a credere in me anche quando io stesso facevo fatica a farlo.

Un ringraziamento speciale va anche a Marta, per la sua presenza costante e per il sostegno che mi ha dato all'inizio di questo percorso.

Un grazie a Giulia, sempre disponibile e pronta a tendermi una mano nei momenti di bisogno.

Infine, desidero ringraziare Rossana e il signor Fabio, che mi hanno accolto con affetto facendomi sentire parte della loro famiglia e dimostrandomi, in ogni occasione, grande generosità e vicinanza.

A tutti voi va il mio grazie più sincero.

Questo traguardo porta anche il vostro nome, perché senza il vostro affetto, il vostro supporto e la vostra presenza, il cammino sarebbe stato molto più difficile.

RESUMO

O tratamento endodôntico exige uma irrigação eficaz para a remoção da *smear layer* e redução bacteriana intracanal. Os protocolos convencionais com NaOCl e EDTA apresentam limitações associadas à complexidade operatória e a possíveis efeitos adversos na estrutura dentinária. O objetivo desta revisão sistemática foi avaliar a eficácia dos novos irrigantes *all-in-one* (Triton All-in-One®, Dual Rinse HEDP® e QMix 2in1) na remoção da *smear layer* e na redução bacteriana, em comparação com os protocolos convencionais. A pesquisa foi conduzida segundo as diretrizes PRISMA nas bases de dados PubMed, Europe PMC e LILACS, abrangendo o período entre 2020 e 2025. A seleção dos estudos foi realizada de forma independente por dois revisores. Foram incluídos estudos *in vitro*, *ex vivo* ou clínicos em dentes humanos monorradiculares, excluindo-se dentição animal ou decídua, canais curvos ou artificiais, revisões de literatura e estudos sem grupo controle. No total, 12 estudos cumpriram os critérios de elegibilidade e foram incluídos na análise qualitativa. Os dados laboratoriais indicam que as soluções *all-in-one* apresentam capacidade de remoção de *smear layer* e ação antimicrobiana comparáveis ou superiores aos protocolos tradicionais, destacando-se a preservação das propriedades mecânicas da dentina, embora com variações dependentes do tempo de aplicação. Em conclusão, as evidências laboratoriais sugerem que os irrigantes *all-in-one* representam uma alternativa promissora; contudo, a escassez de dados *in vivo* torna imperativo o desenvolvimento de mais estudos clínicos para confirmar a sua eficácia. Esta abordagem propicia uma potencial simplificação operatória, reduzindo o risco de acidentes durante o tratamento endodôntico não cirúrgico.

Palavras-chave: Endodontia; Irrigação do Canal Radicular; Irrigantes *all-in-one*; “Smear Layer”; Redução bacteriana.

ABSTRACT

Endodontic treatment requires effective irrigation for smear layer removal and intraradicular bacterial reduction. Conventional protocols using NaOCl and EDTA present limitations related to operative complexity and potential adverse effects on dentin. The aim of this systematic review was to evaluate the efficacy of all-in-one irrigants (Triton All-in-One®, Dual Rinse HEDP®, and QMix 2in1) in smear layer removal and intraradicular bacterial reduction compared to conventional protocols. The search was conducted in accordance with PRISMA guidelines across PubMed, Europe PMC, and LILACS databases for studies published between 2020 and 2025. Study selection was performed independently by two reviewers. *In vitro*, *ex vivo* or clinical studies on intact human single-rooted teeth were included, while animal or primary dentition, curved or artificial canals, literature reviews, and studies without a control group were excluded. In total, 12 studies met the eligibility criteria and were included in the qualitative analysis. Laboratory data indicate that all-in-one solutions exhibit smear layer removal and antimicrobial efficacy comparable or superior to traditional protocols, notably preserving dentin mechanical properties, though variations occurred based on application time. In conclusion, laboratory evidence suggests that all-in-one irrigants are a promising alternative to traditional protocols; however, the scarcity of *in vivo* data mandates further clinical trials to confirm their clinical efficacy and safety. This approach offers a potential simplification of the irrigation procedure, leading to a reduced risk of accidents during non-surgical endodontic treatment.

Keywords: Endodontics; Root Canal Irrigation; All-in-One Irrigants; Smear Layer; Bacterial Reduction.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xix
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS OU ACRÓNIMOS	xxi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DESENVOLVIMENTO.....	9
2.1. Materiais e métodos.....	9
2.1.1. Fontes de pesquisa	9
2.1.2. Critérios de elegibilidade, inclusão e exclusão.....	9
2.2. Bases de dados online e estratégia de pesquisa	11
2.3. Seleção dos estudos e processo de recolha de dados.....	11
2.4. Análise qualitativa e Risco de viés	16
2.5. Resultados.....	20
2.5.1. Características dos estudos selecionados.....	20
2.5.2. Resultados dos estudos selecionados.....	24
2.6. Discussão	29
3. CONCLUSÃO.....	35
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representação gráfica do diagrama PRISMA (<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>).....	15
--	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Características e composição dos irrigantes endodônticos all-in-one.....	6
Tabela 2.	Estratégia PIPCO com finalidade na formulação da questão de revisão e definição de elementos de pesquisa.....	10
Tabela 3.	Estratégia de pesquisa	13
Tabela 4.	Avaliação metodológica dos estudos analisados com recurso à <i>checklist</i> QUIN (<i>Quality Assessment Tool for In Vitro Studies</i>)	17
Tabela 5.	Características dos estudos selecionados para a análise	22
Tabela 6.	Resultados dos estudos selecionados para a análise	24

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS OU ACRÓNIMOS

CFU	<i>Colony Forming Units</i> - Unidades formadoras de colónias
CHX	Clorexidina
CLSM	<i>Confocal Laser Scanning Microscopy</i> - Microscopia confocal de varrimento a laser
EA	EndoActivator
EDDY	Sistema de ativação sónica por poliamida
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
Er,Cr:YSGG	Érbio e Cromo: Ítrio Escandio Galio Garnet
Er:YAG	Érbio: Ítrio Alumínio Garnet
HEDP	Ácido 1-hidroxi-etilideno-1,1-difosfónico
LAI	<i>Laser-Assisted Irrigation</i> - Irrigação ativada por laser
N/A	Não Aplicável
NaOCl	Hipoclorito de Sódio
PIPCO	População, Intervenção, Problema, Comparação, <i>Outcome</i>
PIPS	<i>Photon-Induced Photoacoustic Streaming</i>
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
PUI	<i>Passive Ultrasonic Irrigation</i> - Irrigação ultrassónica passiva
QUIN	<i>Quality Assessment Tool for In Vitro Studies</i>
RCTs	Ensaio clínico controlado e randomizado
SCR	Sistema de canais radiculares
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i> - Microscopia eletrónica de varrimento
SWEEPS	<i>Shock Wave-Enhanced Emission Photoacoustic Streaming</i> - Irrigação fotoacústica com ondas de choque

TE	Tratamento Endodôntico
UAI	<i>Ultrasonic-Activated Irrigation</i> - Irrigação ativada por ultrassons
XPF	XP-Endo Finisher
<	Menor que
>	Maior que
≥	Maior ou igual
≈	Aproximadamente igual a
↑	Aumento
↓	Diminuição

1. INTRODUÇÃO

O sucesso do tratamento endodôntico (TE) depende, em grande parte, da erradicação de microrganismos do sistema de canais radiculares (SCR) e da prevenção da reinfeção (Haapasalo et al., 2010). A maioria das infecções endodônticas é causada por bactérias, as quais colonizam o SCR formando geralmente comunidades complexas organizadas em biofilmes. A presença, multiplicação e migração destes biofilmes para os tecidos periapicais constituem uma das principais causas de insucesso endodôntico (Álvarez-Sagües et al., 2021).

O objetivo do TE é alcançar uma desinfecção adequada, promover a eliminação do biofilme patológico e assegurar uma obturação tridimensional do SCR que previna a reinfeção do dente (Aoun et al., 2023).

A limpeza e modelação eficazes são essenciais para remover tecido necrótico, detritos e biofilmes, mas a instrumentação por si só não consegue alcançar todas as áreas do SCR, particularmente canais laterais, istmos e regiões apicais (Siqueira Junior et al., 2018).

Os instrumentos atuam principalmente no canal principal, deixando uma porção significativa das superfícies do canal intacta, especialmente em canais ovais, achatados ou curvos (Siqueira Junior et al., 2018). De facto, até 35–53% da superfície do canal radicular pode permanecer intocada após a instrumentação mecânica, permitindo a persistência de biofilmes e da *smear layer* (Ballal et al., 2025).

A presença de istmos, deltasapicais e canais acessórios limita ainda mais o acesso dos instrumentos, mesmo após uma adequada limpeza e conformação do canal radicular principal (Álvarez-Sagües et al., 2021). Nesse contexto, a instrumentação é atualmente considerada um meio para permitir o acesso dos irrigantes, que se espera realizem a maior parte da limpeza e desinfecção (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022).

Consequentemente, a irrigação desempenha um papel crítico na obtenção de uma desinfecção e desbridamento completos do SCR (Stojicic et al., 2010), facilitando a remoção de biofilmes bacterianos, detritos e tecidos infetados (Ballal et al., 2025).

A irrigação serve múltiplos objetivos mecânicos, químicos e biológicos na terapia endodôntica (Haapasalo et al., 2014).

Mecanicamente, os irrigantes facilitam a remoção de detritos e lubrificam as paredes do canal, permitindo uma instrumentação segura e eficaz (Munoz & Camacho-Cuadra, 2012).

Quimicamente, os irrigantes dissolvem tecidos orgânicos e inorgânicos, perturbam biofilmes e eliminam comunidades microbianas que não podem ser removidas apenas com instrumentação (Tawakoli et al., 2017).

Biologicamente, a irrigação ajuda a reduzir a carga bacteriana e o risco associado de periodontite apical pós-tratamento, que é, principalmente, uma doença relacionada com biofilme (Swimberghe et al., 2019).

A instrumentação mecânica do SCR com limas endodônticas resulta na formação de uma camada amorfa e irregular de *smear layer* que reveste as paredes do canal e oclui os túbulos dentinários (Badoo et al., 2024; Meyappan et al., 2023).

A *smear layer*, descrita pela primeira vez por McComb & Smith (1975), é uma camada fina de material inorgânico e orgânico constituída por partículas de dentina, restos de processos odontoblásticos, tecido pulpar e microrganismos (Şen et al., 1995; Violich & Chandler, 2010).

A sua presença pode dificultar a penetração do irrigante e reduzir a eficácia dos agentes antimicrobianos (Shahravan et al., 2007; Silva et al., 2012).

A sua remoção é considerada fundamental para expor os microrganismos aos irrigantes e permitir uma adequada adaptação dos materiais de obturação endodôntica (Emekli et al., 2025; Giardino et al., 2019). Além disso, facilita a penetração tanto dos irrigantes como do selador endodôntico nos túbulos dentinários, melhorando a eficácia global do tratamento (Meyappan et al., 2023).

O SCR apresenta uma estrutura anatómica complexa que dificulta a limpeza e desinfecção eficazes (Siqueira Junior et al., 2018), devido à presença de istmos, canais acessórios e ramificações apicais (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022).

Estudos com microtomografia computadorizada demonstraram que a instrumentação por si só pode deixar entre 10% e 80% das superfícies do canal não preparadas, particularmente em regiões anatómicas complexas (Siqueira Junior et al., 2018). Os irrigantes endodônticos tradicionais incluem hipoclorito de sódio (NaOCl), ácido

etilenodiamino tetra-acético (EDTA), clorexidina (CHX) e soluções à base de álcool (Neelakantan et al., 2018).

O NaOCl é amplamente considerado o irrigante de eleição, devido à sua potente atividade antimicrobiana e à sua capacidade única de dissolver tecido orgânico e componentes do biofilme (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022; Giardino et al., 2019). A sua eficácia depende da concentração, volume, tempo de exposição e frequência de renovação durante a preparação do canal (Emekli et al., 2025). No entanto não dissolve completamente materiais inorgânicos nem remove a *smear layer* em áreas de difícil acesso, sendo necessária a sua associação a agentes quelantes, como o EDTA (Álvarez-Sagües et al., 2021).

O EDTA atua principalmente como agente quelante, em concentrações de 15–17%, é utilizado principalmente para remover detritos mineralizados e componentes inorgânicos da *smear layer* gerada durante a instrumentação mecânica, melhorando a penetração de outros irrigantes (Emekli et al., 2025; Giardino et al., 2019; Silva et al., 2012). Apesar de apresentar fraca atividade antimicrobiana, o EDTA promove o desprendimento da matriz do biofilme, complementando a ação do NaOCl (Emekli et al., 2025).

A CHX proporciona atividade antimicrobiana de largo espectro, embora não dissolva tecidos orgânicos como o NaOCl (Naenni et al., 2004).

O álcool reduz a tensão superficial, melhora a molhabilidade das paredes do canal e ajuda as soluções a atingir áreas inacessíveis, mas não dissolve tecidos e tem efeito antimicrobiano limitado (Haapasalo et al., 2014; Stojicic et al., 2010; Zehnder, 2006).

Os protocolos tradicionais de irrigação sequencial combinam frequentemente estas soluções para alcançar tanto a remoção da *smear layer* como a erradicação microbiana (Neelakantan et al., 2018). Consequentemente, os protocolos convencionais dependem da aplicação alternada - primeiro NaOCl para dissolver tecido orgânico e eliminar bactérias, depois EDTA para remover a *smear layer* inorgânica - evitando a combinação direta (Wakas Oram & Al-Zaka, 2024).

No entanto, apesar do seu uso generalizado, os irrigantes convencionais têm limitações na limpeza de anatomias canaliculares complexas e nas suas interações químicas quando combinados (Prado et al., 2013).

A aplicação sequencial de NaOCl e CHX pode produzir precipitados, como para-cloroanilina, que podem obstruir túbulos dentinários e comprometer a qualidade do selamento (Prado et al., 2013). De forma semelhante, a mistura direta de NaOCl e EDTA reduz a atividade oxidante e a eficácia de dissolução tecidual do NaOCl, podendo gerar subprodutos indesejáveis (Gupta et al., 2025; Halkai, Ishaq, et al., 2025b).

Mesmo quando corretamente aplicados, os protocolos sequenciais NaOCl-EDTA podem deixar o terço apical parcialmente limpo, reduzir a eficácia antimicrobiana e causar erosão dentinária devido à exposição prolongada ao EDTA (Gupta et al., 2025; Halkai, Ishaq, et al., 2025b). A natureza multi-etapa destes protocolos aumenta a complexidade do procedimento e o risco de erro por parte do operador, enquanto a anatomia complexa limita ainda mais a penetração dos irrigantes, deixando resíduos de biofilme e detritos tecidulares (Kamath et al., 2025; Kottathil et al., 2024).

Para superar estas limitações, foram desenvolvidos irrigantes multifuncionais ou “*all-in-one*”, combinando propriedades dissolventes de tecido, antimicrobianas e quelantes numa única solução (Ballal et al., 2025; Chen et al., 2025). Agentes quelantes suaves, como HEDP (ácido 1-hidroxi-etilideno-1,1-difosfónico), foram incorporados em soluções de NaOCl, permitindo quelagem contínua que remove gradualmente a *smear layer* inorgânica, preservando a atividade antimicrobiana e proteolítica do NaOCl, sem formar subprodutos nocivos (Gupta et al., 2025; Kamath et al., 2025).

O mecanismo destas soluções baseia-se na sinergia química: o NaOCl fornece efeitos proteolíticos e antimicrobianos, enquanto quelantes como HEDP ou ácido cítrico removem detritos inorgânicos e componentes da *smear layer* (Wakas Oram & Al-Zaka, 2024). Surfactantes e modificadores de pH aumentam ainda mais a penetração, reduzem a tensão superficial e otimizam a interação com biofilmes (Halkai, Vidyananda, et al., 2025). Esta abordagem permite um protocolo de irrigação simplificado e eficiente em termos de tempo, reduzindo a necessidade de múltiplas soluções sequenciais, mantendo a eficácia na dissolução de tecido e remoção da *smear layer* (Wakas Oram & Al-Zaka, 2024). Exemplos recentes incluem (**Tabela 1**):

- O Dual Rinse HEDP® (Medcem, Weinfelden, Switzerland), um irrigante baseado no conceito de quelagem contínua, preparado no consultório odontológico através da mistura imediata de HEDP com NaOCl antes da utilização clínica (Giardino et al., 2019). O produto é fornecido sob a forma de cápsulas contendo 0,9 g de pó de

HEDP, que são dissolvidas em 10 mL de solução de NaOCl na concentração desejada, conforme recomendação do fabricante (Emekli et al., 2025; Giardino et al., 2019; Kottathil et al., 2024). Após a mistura, obtém-se uma solução de NaOCl combinada com 9% de HEDP, permitindo a utilização do irrigante como solução única durante toda a instrumentação.

- QMix 2in1® (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Switzerland), um irrigante desenvolvido principalmente para uso como irrigante final, combinando propriedades antimicrobianas, quelantes e surfactantes numa única solução (Shalavi & Mohammadi, 2021). A sua composição inclui um agente quelante poliaminocarboxílico (17% EDTA), um agente antimicrobiano bisbiguanida (2% CHX), um surfactante (cetrimida) e água desionizada (Ballal et al., 2023);
- Triton All-in-One® (Brasseler, Savannah, USA), um verdadeiro sistema *all-in-one* destinado à utilização contínua ao longo de toda a preparação do canal radicular (Halkai, Vidyananda, et al., 2025). Trata-se de um sistema de dois componentes (Parte A e Parte B), que são misturados imediatamente antes do uso clínico através de um dispositivo *automix*, originando a solução final (Ballal et al., 2025). O Triton é composto por duas partes com componentes distintos, sendo que a Parte A contém agentes quelantes, tensioactivos, modificadores de pH e estabilizantes, enquanto a Parte B contém NaOCl e um modificador de pH. A técnica *automix* permite a mistura precisa das duas partes, resultando na solução final (NaOCl a 4%) (Sheng et al., 2023).

Tabela 1.*Características e composição dos irrigantes endodônticos all-in-one*

Irrigante	Fabricante	Composição	Preparação	Utilização	Características
Dual Rinse HEDP®	Medcem (Weinfelden, Switzerland)	NaOCl + 9% HEDP (0,9 g de HEDP dissolvido em 10 mL de NaOCl)	Preparado imediatamente antes do uso	Uso contínuo	Vantagens: Quelagem contínua; menor erosão dentinária. Limitações: Estabilidade limitada; cloro livre ↓
QMix 2in1®	Dentsply, Maillefer, (Ballaigues, Switzerland)	17% EDTA, 2% CHX, cetrimida (surfactante) e água desionizada	Pronto uso	para Irrigante final	Vantagens: Boa penetração; sem precipitado. Limitações: Não indicado para uso contínuo
Triton All-in-One®	Brasseler (Savannah, USA)	Parte A: 1,2,4-Butanetricarboxylic acid, 2-phosphono- (<15%), citric acid (<2%), sodium dodecyl benzenesulfonate (<2%), alcohols C9-11 ethoxylated liquids (<2%), polyethylene glycol 4-(tert-octylphenyl) ether liquid (<2%), sodium lauryl sulfate (<2%), 2-ethylhexyl sodium sulfate (<2%), sodium cumenesulphonate (<2%), and sodium hydroxide (<1%). Parte B: NaOCl (<10%) e hidróxido de sódio (<2%).	Mistura imediata sistema <i>automix</i>	por Uso contínuo	Vantagens: Protocolo simplificado; menos incompatibilidades Limitações: Dependência do <i>automix</i> ; NaOCl variável

Legenda: CHX (Clorexidina), EDTA (Ácido etilenodiamino tetra-acético), HEDP (Ácido 1-hidroxietano-1,1-difosfónico), NaOCl (Hipoclorito de Sódio), ↓ (diminuição).

O Dual Rinse HEDP® tem com o objetivo de minimizar interações químicas indesejáveis entre irrigantes e reduzir a erosão dentinária associada ao uso prolongado de agentes quelantes fortes, como o EDTA. No entanto, a sua associação com o NaOCl resulta numa diminuição progressiva do cloro livre disponível, o que limita a estabilidade da solução após a mistura. Assim, recomenda-se que a solução preparada seja utilizada dentro de aproximadamente uma hora, de modo a preservar a sua eficácia

antimicrobiana e capacidade de dissolução tecidual (Campello et al., 2022; Kottathil et al., 2024). Este protocolo permite a realização de quelagem contínua sem comprometer significativamente a atividade antimicrobiana do NaOCl (Giardino et al., 2019; Jain et al., 2024).

O QMix 2in1[®] destaca-se por poder ser utilizado após o NaOCl sem formação de para-cloroanilina, aumentando a segurança clínica do protocolo de irrigação (Ballal et al., 2023). A sua formulação combina ação antimicrobiana, remoção da *smear layer* e redução da tensão superficial, favorecendo a penetração nos túbulos dentinários e nas irregularidades do SCR (Shalavi & Mohammadi, 2021). No entanto, não é indicado para uso contínuo durante a instrumentação, sendo recomendado apenas como irrigante final, após a instrumentação e irrigação prévia com NaOCl (Ballal et al., 2023).

O Triton All-in-One[®] baseia-se na combinação de NaOCl com o quelante fraco, permitindo um processo de quelagem contínua menos agressiva, com menor risco de erosão dentinária e de interações químicas indesejáveis quando comparado aos protocolos sequenciais tradicionais (Castagnola et al., 2023). Esta formulação integra, numa única solução, atividade antimicrobiana, dissolução tecidual, remoção da *smear layer* e melhoria da molhabilidade dentinária, reduzindo a necessidade do uso de múltiplos irrigantes (Badoo et al., 2024; Halkai, Vidyananda, et al., 2025).

De forma geral, os irrigantes *all-in-one* apresentam vantagens teóricas como a simplificação do protocolo clínico, redução do tempo operatório, menor risco de interações químicas e melhor acesso a regiões anatómicas complexas do SCR (Kamath et al., 2025). Na prática, estes irrigantes têm demonstrado maior eficácia na remoção da *smear layer*, dissolução tecidual e erradicação de biofilmes, podendo aumentar a previsibilidade do tratamento, especialmente em canais minimamente instrumentados ou com anatomia complexa (Halkai, Vidyananda, et al., 2025). A utilização de quelantes fracos permite a quelagem contínua sem consumo rápido do cloro livre, contribuindo para um melhor equilíbrio entre eficácia e segurança clínica (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022; Wakas Oram & Al-Zaka, 2024). Estes irrigantes foram desenvolvidos para integrar, numa única solução, ação antimicrobiana, remoção da *smear layer* e a presença de surfactantes e estabilizadores, assegurando um controlo mais consistente da *smear layer* ao longo da instrumentação (Giardino et al., 2019; Halkai, Vidyananda, et al., 2025; Shalavi & Mohammadi, 2021).

Apesar das suas propriedades promissoras, poucos estudos compararam diretamente os modernos irrigantes *all-in-one* em termos de remoção da *smear layer*, redução bacteriana, dissolução tecidual e efeitos na dentina radicular (Halkai, Ishaq, et al., 2025b).

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar, por meio de uma revisão sistemática, a eficácia dos irrigantes *all-in-one* em dentes permanentes humanos, comparando-os aos protocolos convencionais de irrigação baseados em NaOCl e EDTA, no que diz respeito à remoção da *smear layer* e à redução bacteriana intracanal.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Materiais e métodos

2.1.1. Fontes de pesquisa

O protocolo e a metodologia relativos a revisão sistemática, encontra-se registada na plataforma PROSPERO (*International Prospective Register of Systematic Reviews*), em data 12/04/2026; tendo sido atribuído o seguinte código de identificação: CRD420251274759 (PROSPERO *acknowledgement of receipt*).

Em conformidade com as orientações, a revisão sistemática foi conduzida utilizando a lista de controlo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Shamseer et al., 2015).

2.1.2. Critérios de elegibilidade, inclusão e exclusão

A formulação da questão clínica que orientou a presente revisão sistemática foi desenvolvida com base na estratégia PIPCO (População, Intervenção, Problema, Comparação e *Outcome*), com o objetivo de abordar a seguinte questão “Em dentes permanentes humanos com presença da *smear layer* e/ou contaminação bacteriana intracanal, os irrigantes *all-in-one* apresentam uma eficácia comparável aos protocolos convencionais de irrigação na remoção da *smear layer* e na redução bacteriana intracanal?”.

A população de interesse (P) para esta revisão sistemática consistiu em dentes permanentes humanos submetidos a TE em modelos *ex vivo* ou *in vitro*. A intervenção avaliada (I) foi a utilização de irrigantes *all-in-one* durante o protocolo de irrigação intracanal. O problema clínico considerado (P) foi a presença da *smear layer* e/ou contaminação bacteriana intracanal. Esta intervenção foi comparada (C) com protocolos convencionais de irrigação, incluindo NaOCl e EDTA. O objetivo foi avaliar como resultado (O) a eficácia dos irrigantes *all-in-one* na remoção da *smear layer* e/ou na redução bacteriana intracanal.

Assim na **tabela 2** foi resumida a estratégia PIPCO utilizada para esta revisão sistemática.

Tabela 2.

Estratégia PIPCO com finalidade na formulação da questão de revisão e definição de elementos de pesquisa

Critérios	Determinantes
População	Dentes permanentes humanos submetidos a TE <i>ex vivo</i> ou <i>in vitro</i>
Intervenção	Irrigantes <i>all-in-one</i>
Problema	Presença de <i>smear layer</i> e/ou contaminação bacteriana intracanal
Comparação	Protocolos convencionais de irrigação (NaOCl, EDTA)
Outcome	Remoção da <i>smear layer</i> e/ou redução bacteriana intracanal

Legenda: EDTA (Ácido etilenodiamino tetra-acético), NaOCl (Hipoclorito de Sódio), TE (Tratamento Endodôntico).

Foram determinados critérios de inclusão e exclusão para selecionar os artigos que foram considerados como resultados deste estudo. Assim, foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão:

(1) Estudos de tipologia *in vitro*, *ex vivo* ou clínicos; (2) Artigos escritos em inglês, italiano ou português; (3) Artigos completos que abordem diretamente a temática do estudo; (4) Estudos realizados em dentes monorradiculares íntegros ou dentes extraídos.

Foi ainda definido um limite temporal, incluindo apenas estudos publicados entre 2020 e 2025.

Por outro lado, os critérios de exclusão corresponderam aos seguintes:

(1) Estudos realizados em dentição animal, decídua ou com canais curvos, artificiais ou fraturados; (2) Estudos cuja temática não estivesse diretamente relacionada com os objetivos do estudo; (3) Artigos sem acesso completo; (4) Estudos do tipo revisões sistemáticas, meta-análises ou revisões narrativas/literatura; (5) Estudos que não avaliavam a redução bacteriana, não incluíam o uso de NaOCl ou não apresentavam resultados experimentais; (6) Estudos sem grupo controle; (7) Publicações anteriores a 2020;

A seleção dos estudos incluídos nesta revisão foi realizada de forma independente e cega por dois investigadores/revisores independentes, que avaliaram separadamente os títulos, resumos e, posteriormente, os textos completos de todos os artigos identificados

através da pesquisa bibliográfica. Em caso de discrepâncias ou desacordos quanto à inclusão ou exclusão de qualquer estudo, estas foram inicialmente discutidas entre os dois revisores e resolvidas por consenso mútuo. Este procedimento metodológico rigoroso teve como objetivo minimizar o risco de viés de seleção e garantir a total reprodutibilidade do processo de inclusão das evidências científicas.

2.2. Bases de dados online e estratégia de pesquisa

Para identificar todos os estudos relacionados à nossa questão de pesquisa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sistemática de artigos científicos nas seguintes bases eletrônicas de dados: *PubMed*, *Europe PMC* e *LILACS*.

A estratégia de pesquisa incluiu a combinação dos seguintes termos de pesquisa (MeSH Terms): “All-in-one”, “Dual Rinse”, “HEDP”, “Triton”, “QMix”, “root canal”, “endodontic”, “irrigation”, “irrigant”, recorrendo aos operadores booleanos AND ou OR para a sua combinação (**Tabela 3**).

Os resultados das pesquisas bibliográficas foram registados na **tabela 3** com todos os resultados obtidos a partir de cada base de dados segundo a estratégia de pesquisa.

Restrições de tempo e de idioma foram aplicados, e apenas estudos publicados nos últimos 5 anos em inglês, italiano, ou português foram incluídos na revisão.

A pesquisa inicial foi realizada no dia 20 de outubro de 2025 e foi realizada uma pesquisa atualizada até o dia 20 de dezembro de 2025.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida e concluída a 20 de dezembro de 2025. Foram consultadas as bases de dados eletrônicas PubMed, Europe PMC e LILACS, utilizando estratégias de pesquisa baseadas na combinação de termos relacionados com irrigantes endodônticos "All-in-one" OR "Dual Rinse" OR "HEDP" OR "Triton" OR "QMix") AND ("root canal" OR "endodontic") AND ("irrigation" OR "irrigant" OR "irrigants").

2.3. Seleção dos estudos e processo de recolha de dados

Na base de dados PubMed, a pesquisa inicial identificou 243 registos. Após a aplicação de um filtro temporal para incluir apenas estudos publicados a partir de 2020, o número de registos reduziu-se para 114. Posteriormente, limitando a pesquisa a estudos realizados em seres humanos, foram selecionados 51 registos.

Na base de dados Europe PMC, a pesquisa inicial identificou 243 registos; após a aplicação do filtro temporal a partir de 2020, restaram 142 registos.

Na base de dados LILACS, a pesquisa produziu 233 registros, reduzidos para 92 após a aplicação do filtro temporal para estudos publicados a partir de 2020.

Além disso, foi realizada uma pesquisa manual, realizada no site do editor Lippincott Williams & Wilkins (LWW), utilizando a palavra-chave “Triton endodontic”. Esta pesquisa identificou 11 registros; após a aplicação de um filtro temporal relativo aos últimos cinco anos, 8 registros foram submetidos a screening mediante avaliação do título e do resumo, com a inclusão de 1 estudos na revisão: Halkai, Ishaq, et al. (2025a) publicado no Saudi Endodontic Journal.

As palavras-chave utilizadas na estratégia de pesquisa para a banca de dados (**Tabela 3**) são: PubMed: ((((((Dual Rinse) OR (HEDP)) OR (Triton)) OR (QMix)) AND (root canal)) AND (endodontic)) AND (irrigation); Europe PMC: (“All-in-one” OR “Dual Rinse” OR “Triton” OR “QMix”) AND (“endodontic irrigants” OR “root canal irrigants” OR “root canal irrigation”); LILACS: (“All-in-one” OR “Dual Rinse” OR “Triton” OR “QMix”) AND (“endodontic” OR “root canal”), limitando a pesquisa aos campos Título, Resumo e Assunto (Title, Abstract e Subject).

Para a pesquisa manual no site do editor Lippincott Williams & Wilkins (LWW), foi utilizada a palavra-chave: “Triton endodontic”.

Tabela 3.*Estratégia de pesquisa*

Base de dados	Estratégia de pesquisa	Número de artigos encontrados
PubMed	(((((Dual Rinse) OR (HEDP)) OR (Triton)) OR (QMix)) AND (root canal)) AND (endodontic)) AND (irrigation)	51
Europe PMC	("All-in-one" OR "Dual Rinse" OR "Triton" OR "QMix") AND ("endodontic irrigants" OR "root canal irrigants" OR "root canal irrigation")	142
LILACS	("All-in-one" OR "Dual Rinse" OR "Triton" OR "QMix") AND ("endodontic" OR "root canal")	92
Pesquisa manual no site Lippincott Williams & Wilkins (LWW)	Palavra-chave: "Triton endodontic"	8

No total, a pesquisa nas bases de dados eletrônicas e em fontes adicionais produziu 293 registros, sendo 51 provenientes da PubMed, 142 da Europe PMC, 92 da LILACS, 8 através de uma pesquisa manual no site do editor Lippincott Williams & Wilkins (LWW).

Após a remoção de 98 duplicados, permaneceram 195 registros, que foram submetidos a triagem de título e resumo, resultando na exclusão de 169 artigos por não serem pertinentes aos objetivos da revisão.

Os 26 artigos restantes foram avaliados em *full-text*, dos quais 14 foram excluídos pelos seguintes motivos: 1 não mencionava irrigantes endodônticos de nova geração; 1 não estava acessível em *full-text*; 1 não avaliava a redução da *smear layer* ou a redução bacteriana; 5 não incluíam o uso de NaOCl; 2 não incluíam o uso de EDTA; 1 foi conduzido em modelo animal; 3 não apresentavam resultados experimentais.

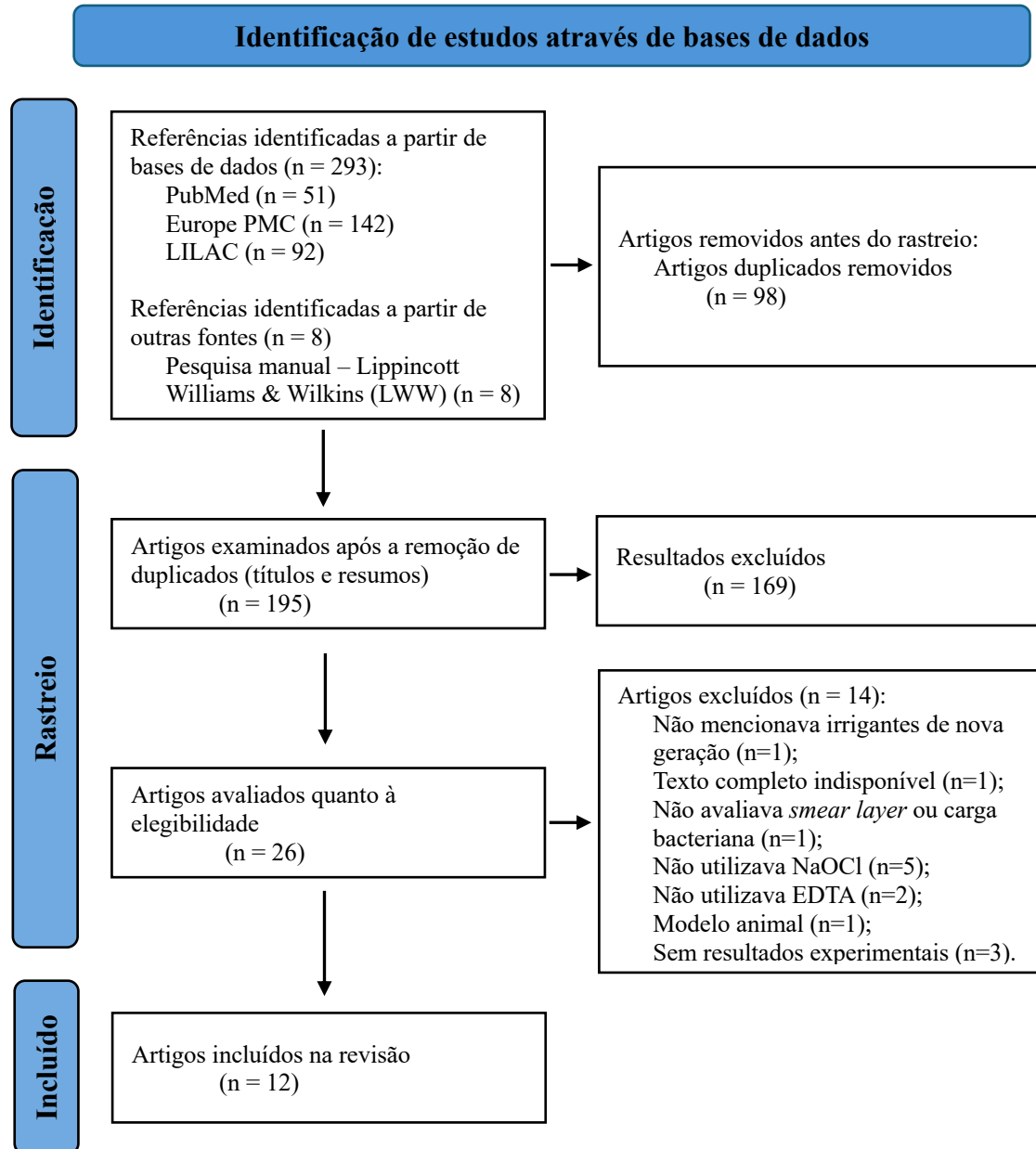
Ao final deste processo, 12 estudos foram incluídos na revisão qualitativa, constituindo a base para a análise dos dados.

Os 12 estudos que foram selecionados para a extração de dados são: (Álvarez-Sagües et al., 2021); (Aoun et al., 2023); (Ballal et al., 2025); (Badoo et al., 2024); (Castagnola et al., 2023); (Chen et al., 2025); (Halkai, Ishaq, et al., 2025a); (Kamil et al., 2025); (Kfir et al., 2020); (Meyappan et al., 2023); (Sheng et al., 2023); (Wakas Oram & Al-Zaka, 2024).

Este processo de triagem foi definido e resumido com a construção do seguinte diagrama na **figura 1**.

Figura 1.

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



Legenda: EDTA (Ácido etilenodiamino tetra-acético), NaClO (Hipoclorito de Sódio).

2.4. Análise qualitativa e Risco de viés

A avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos nesta revisão foi realizada utilizando o *Quality Assessment Tool for In Vitro Studies* (QUIN), desenvolvido e validado por Sheth et al. (2024).

Esta ferramenta baseia-se na análise de 12 critérios metodológicos, especificamente concebidos para a avaliação do risco de viés em estudos experimentais laboratoriais.

Cada critério é classificado de acordo com quatro categorias: adequadamente especificado (2 pontos), inadequadamente especificado (1 ponto), não especificado (0 pontos) ou não aplicável, sendo este último excluído do cálculo da pontuação final.

A pontuação total atribuída a cada estudo resulta da soma dos pontos obtidos nos critérios aplicáveis, sendo posteriormente convertida numa percentagem através da seguinte fórmula:

$$\text{Pontuação final (\%)} = (\text{Pontuação total} \times 100) / (2 \times \text{número de critérios aplicáveis})$$

Com base na pontuação final obtida, os estudos foram classificados quanto ao risco de viés em três categorias: baixo risco de viés (>70%), risco de viés moderado (50–70%) e alto risco de viés (<50%).

Os doze critérios avaliados pela ferramenta QUIN incluem: (1) objetivos claramente definidos; (2) descrição do cálculo do tamanho da amostra; (3) explicação da técnica de amostragem; (4) caracterização dos grupos de comparação; (5) descrição detalhada da metodologia; (6) informação relativa ao operador; (7) randomização; (8) método de medição dos desfechos; (9) identificação do avaliador dos resultados; (10) cegamento; (11) análise estatística; (12) apresentação dos resultados.

No presente trabalho, o QUIN foi utilizado para avaliar o risco de viés dos estudos *in vitro* incluídos na revisão, permitindo uma avaliação sistemática, transparente e reproduzível da qualidade metodológica das evidências disponíveis relacionadas com a eficácia dos irrigantes endodônticos *all-in-one*, em comparação com protocolos convencionais de irrigação, na remoção da *smear layer* e/ou na redução bacteriana intracanal.

Os resultados da avaliação qualitativa e a classificação do risco de viés dos estudos incluídos encontram-se apresentados na **tabela 4**.

Tabela 4.

Avaliação metodológica dos estudos analisados com recurso à checklist QUIN (Quality Assessment Tool for In Vitro Studies)

Estudo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Álvarez-Sagües et al. (2021)	2	0	2	2	2	1	2
Aoun et al. (2023)	2	2	2	2	2	1	2
Ballal et al. (2025)	2	2	2	2	2	1	2
Bandoo et al. (2024)	2	0	1	2	2	2	1
Castagnola et al. (2023)	2	2	2	2	2	1	1
Chen et al. (2025)	2	0	2	2	2	1	1
Halkai, Ishaq, et al. (2025a)	2	2	2	2	2	1	2
Kamil et al. (2025)	2	2	1	2	2	1	1
Kfir et al. (2020)	2	0	1	2	2	2	1
Meyappan et al. (2023)	2	0	1	2	2	0	2
Sheng et al. (2023)	2	0	1	2	2	0	2
Wakas Oram & Al-Zaka (2024)	2	0	1	2	2	0	1

Legenda: C = critério metodológico avaliado; C1–C7 = critérios do QUIN (C1 objetivos claramente definidos; C2 cálculo do tamanho da amostra; C3 técnica de amostragem; C4 grupos de comparação; C5 metodologia detalhada; C6 informação relativa ao operador; C7 randomização);

Pontuação: 2 = adequadamente especificado, 1 = inadequadamente especificado, 0 = não especificado, NA = não aplicável (excluído do cálculo).

Tabela 4.*Continuação*

Estudo	C8	C9	C10	C11	C12	QUIN (%)	Risco
Álvarez-Sagües et al. (2021)	2	0	0	2	2	70,8	Baixo
Aoun et al. (2023)	2	2	2	2	2	95,8	Baixo
Ballal et al. (2025)	2	2	2	2	2	95,8	Baixo
Bandoo et al. (2024)	2	2	2	0	2	81,8	Baixo
Castagnola et al. (2023)	2	2	2	2	2	91,7	Baixo
Chen et al. (2025)	2	2	1	2	2	79,2	Baixo
Halkai, Ishaq, et al. (2025a)	2	2	2	2	2	95,8	Baixo
Kamil et al. (2025)	2	2	1	2	2	83,3	Baixo
Kfir et al. (2020)	2	2	2	2	2	83,3	Baixo
Meyappan et al. (2023)	2	2	1	2	2	75,0	Baixo
Sheng et al. (2023)	2	1	0	2	2	66,7	Moderado
Wakas Oram & Al-Zaka (2024)	2	2	2	2	2	75,0	Baixo

Legenda: C = critério metodológico avaliado; C8–C12 = critérios do QUIN (C8 método de medição dos desfechos; C9 avaliador dos resultados; C10 cegamento; C11 análise estatística; C12 apresentação dos resultados);

Pontuação: 2 = adequadamente especificado, 1 = inadequadamente especificado, 0 = não especificado, NA = não aplicável (excluído do cálculo);

Classificação do risco de viés: >70% = baixo, 50–70% = moderado, <50% = alto.

A avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos, realizada através da ferramenta QUIN, revelou que a maioria dos trabalhos apresentou baixo risco de viés, indicando um nível globalmente satisfatório de rigor metodológico nos estudos *in vitro* analisados.

Os estudos de Aoun et al. (2023), Ballal et al. (2025), Halkai, Ishaq, et al. (2025a), obtiveram as pontuações QUIN mais elevadas, refletindo objetivos claramente definidos, descrição detalhada da metodologia, grupos de comparação adequados e avaliação consistente dos desfechos. Estes trabalhos apresentaram também análise estatística apropriada e adequada apresentação dos resultados.

Pontuações igualmente compatíveis com baixo risco de viés foram observadas nos estudos de Álvarez-Sagües et al. (2021), Castagnola et al. (2023), Chen et al. (2025), Kamil et al. (2025), Kfir et al. (2020), Meyappan et al. (2023), Sheng et al. (2023) e Wakas Oram & Al-Zaka (2024).

Apesar da qualidade metodológica globalmente adequada, algumas limitações foram identificadas, nomeadamente a ausência de cálculo do tamanho da amostra, descrição incompleta do processo de randomização e informação limitada sobre o cegamento, aspetos comuns em estudos laboratoriais.

O estudo de Sheng et al. (2023) foi classificado como apresentando risco de viés moderado, principalmente devido à ausência de cálculo da amostra, informações insuficientes sobre os operadores e falta de descrição do cegamento, apesar do uso de múltiplos métodos de avaliação e análise estatística adequada.

As principais fragilidades metodológicas identificadas foram a ausência do cálculo da dimensão da amostra, a descrição incompleta da randomização e a limitada informação disponível sobre os operadores. Ainda assim, a maioria dos estudos apresentou metodologia adequada, com grupos de comparação apropriados, medições padronizadas dos *outcomes* e análises estatísticas consistentes.

De modo geral, os estudos incluídos demonstraram qualidade metodológica aceitável, permitindo uma análise confiável da eficácia dos irrigantes endodônticos *all-in-one* em comparação com os protocolos convencionais na remoção da *smear layer* e/ou na redução bacteriana intracanal.

2.5. Resultados

2.5.1. Características dos estudos selecionados

A pesquisa sistemática conduziu à inclusão de 12 estudos experimentais, todos conduzidos *in vitro* em dentes permanentes humanos extraídos, publicados entre 2020 e 2025.

Os estudos avaliaram a eficácia de irrigantes endodônticos *all-in-one* (Triton[®], QMix[®] e Dual Rinse HEDP[®]), comparando-os com protocolos convencionais baseados no NaOCl associado ao EDTA, com ou sem técnicas de ativação, nomeadamente EndoActivator (EA), *Laser-Activated Irrigation* - irrigação ativada por laser (LAI), *Passive Ultrasonic Irrigation* - irrigação ultrassónica passiva (PUI), *Shock Wave-Enhanced Emission Photoacoustic Streaming* - irrigação fotoacústica com ondas de choque (SWEEPS), sistema de ativação sónica por poliamida (EDDY), *Ultrasonic-Activated Irrigation* - irrigação ativada por ultrassons (UAI) e XP-Endo Finisher (XPF).

Todos os estudos incluídos adotaram critérios de seleção homogêneos, baseados predominantemente na utilização de dentes humanos monorradiculares ou multirradiculares, isentos de reabsorções, calcificações ou tratamentos endodônticos prévios. Na maioria dos casos, as amostras foram divididas em vários grupos de comparação, incluindo pelo menos um grupo controlo submetido a irrigação convencional.

A remoção da *smear layer* foi o *outcome* mais frequentemente analisado, tendo sido avaliada em 11 estudos por *Scanning Electron Microscopy* - microscopia eletrónica de varrimento (SEM). A análise foi realizada utilizando critérios de avaliação validados, com observações efetuadas nos diferentes terços do canal radicular (coronal, médio e apical). A redução bacteriana constituiu outro *outcome* primário, avaliada através de *colony-forming units* - unidades formadoras de colónias (CFU) - e por *Confocal Laser Scanning Microscopy* - microscopia confocal de varrimento a laser (CLSM). Como *outcomes* secundários, foram considerados a dissolução do tecido pulpar, a citotoxicidade celular e as alterações da microdureza dentinária.

Dos 12 estudos incluídos, 8 estudos (Aoun et al., 2023)(Badoo et al., 2024)(Chen et al., 2025)(Halkai, Ishaq, et al., 2025a)(Kamil et al., 2025)(Kfir et al., 2020)(Meyappan et al., 2023) avaliaram exclusivamente a remoção da *smear layer* por SEM.

Um estudo (Álvarez-Sagües et al., 2021) analisou exclusivamente a redução bacteriana, utilizando a contagem de CFU.

Três estudos (Ballal et al., 2025)(Castagnola et al., 2023)(Sheng et al., 2023) avaliaram simultaneamente a remoção da *smear layer* e a redução bacteriana, através de CFU e/ou CLSM.

Adicionalmente, quatro estudos incluíram, para além dos *outcomes* principais, a avaliação de *outcomes* secundários, tais como a dissolução tecidular (Halkai, Ishaq, et al., 2025a), a microdureza dentinária (Kamil et al., 2025), a erosão dentinária (Kfir et al., 2020) e a citotoxicidade celular (Ballal et al., 2025).

No conjunto, a remoção da *smear layer* foi analisada em 11 estudos, enquanto a redução bacteriana foi avaliada em 4 estudos.

As principais características dos estudos selecionados encontram-se resumidas na **tabela 5**.

Tabela 5.

Características dos estudos selecionados para a análise

Autor (Ano)	Tipo de estudo	Amostra	Irrigante <i>all-in-one</i>	Grupo controle	Ativação	Método
Álvarez-Sagües et al. (2021)	<i>in vitro</i>	100 dentes mono e multirradiculares	Dual Rinse HEDP® + NaOCl 5,25%	NaOCl 5,25% + EDTA 17%	PUI / XPF	CFU
Aoun et al. (2023)	<i>in vitro</i>	75 pré-molares mandibulares monorradiculares	Dual Rinse HEDP® + NaOCl 3%	NaOCl 3% + EDTA 17%	Nenhuma / EDDY	SEM
Ballal et al. (2025)	<i>in vitro</i>	40 pré-molares monorradiculares	Triton One® All-in-	NaOCl 3% + EDTA 17%	N/A	SEM / CFU
Bandoo et al. (2024)	<i>in vitro</i>	21 dentes anteriores monorradiculares	Triton One® All-in-	NaOCl 5,25% + EDTA 17%	EA	SEM
Castagnola et al. (2023)	<i>in vitro</i>	30 pré-molares monorradiculares	Triton All-in-One® Dual Rinse HEDP® + NaOCl 6%	NaOCl 6% + EDTA 17%	N/A	SEM / CFU
Chen et al. (2025)	<i>in vitro</i>	76 pré-molares mandibulares	Triton One® All-in-	NaOCl 6% + EDTA 17%	Nenhuma / LAI (Er:YAG)/ SWEEPS / UAI	SEM
Halkai, Ishaq, et al. (2025a)	<i>in vitro</i>	108/ 48 pré-molares monorradiculares	Triton All-in-One® QMix 2in1®	NaOCl 2,5% + EDTA 17%	N/A	SEM

Autor (Ano)	Tipo de estudo	Amostra	Irrigante <i>all-in-one</i>	Grupo controle	Ativação	Método
Kamil et al. (2025)	<i>in vitro</i>	64 raízes palatinas de molares maxilares	Dual Rinse HEDP® + NaOCl 3%	NaOCl 3% + EDTA 17%	Nenhuma/EA/UAI/Er.Cr.YSG G	SEM
Kfir et al. (2020)	<i>in vitro</i>	50 monorradiculares dentes	Dual Rinse HEDP® + NaOCl 3%	NaOCl 3% + EDTA 17%	N/A	SEM
Meyappan et al. (2023)	<i>in vitro</i>	40 pré-molares monorradiculares	QMix 2in1®	NaOCl 3% + EDTA 17% + CHX 2%	N/A	SEM
Sheng et al. (2023)	<i>in vitro</i>	48 monorradiculares dentes (96 blocos de dentina)	Triton One® All-in-	NaOCl 2% ou 6% + EDTA 17%	N/A	SEM/CLSM/CFU
Wakas Oram & Al-Zaka (2024)	<i>in vitro</i>	40 pré-molares mandibulares	Triton One® All-in-	NaOCl 5,25% + EDTA 17%	N/A	SEM

Legenda: CFU (*Colony Forming Units*), CHX (Cloroxidina), CLSM (*Confocal Laser Scanning Microscopy*), EA (EndoActivator), EDDY (Sistema de ativação sônica por poliamida), EDTA (Ácido etilenodiamino tetra-acético), HEDP (Ácido 1-hidroxietano-1,1-difosfônico), LAI (*Laser Activated Irrigation*), N/A (Não Aplicável), NaOCl (Hipoclorito de Sódio), PUI (*Passive Ultrasonic Irrigation*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), SWEEPS (*Shock Wave-Enhanced Emission Photoacoustic Streaming*), UAI (*Ultrasonic-Activated Irrigation*), XPF (XP-Endo Finisher).

2.5.2. Resultados dos estudos selecionados

Os principais resultados dos estudos selecionados estão sintetizados na **tabela 6**.

Tabela 6.

Resultados dos estudos selecionados para a análise

Autor (Ano)	Outcome	Smear layer	Redução bacteriana	Outro outcome	Conclusão
Álvarez-Sagües et al. (2021)	Redução bacteriana	N/A	Dual Rinse: CFU = 0; NaOCl+EDTA: CFU residuais	N/A	Dual Rinse ↑ redução bacteriana; o irrigante teve maior impacto do que a ativação
Aoun et al. (2023)	Smear layer	O Dual Rinse ↑ no terço apical, sem diferenças nos terços coronário e médio. A ativação ↑ a remoção da <i>smear layer</i> apenas no terço apical em ambos os grupos.	N/A	N/A	Dual Rinse ≥ NaOCl + EDTA; o protocolo convencional, com ↑ resultados sobretudo no terço apical. A ativação potenciou a eficácia apical.
Ballal et al. (2025)	Redução bacteriana + Smear layer	NaOCl + EDTA ≥ Triton Nos terços coronário e médio NaOCl + EDTA ↑. No terço apical ambos os protocolos mostraram resultados semelhantes.	Triton ≈ NaOCl + EDTA, sem diferenças estatisticamente significativas, com CFU = 0 em ambos os grupos.	Citotoxicidade: O Triton ↑ citotoxicidade.	O Triton ↑ atividade antibacteriana, ↑ citotoxicidade e ↓ capacidade de remoção da <i>smear layer</i> .
Bandoo et al. (2024)	Smear layer	NaOCl + EDTA > Triton, com remoção da <i>smear layer</i> mais completa e uniforme, sobretudo nos terços médio e apical.	N/A	N/A	O Triton < NaOCl + EDTA, sendo o protocolo convencional mais eficaz na remoção da <i>smear layer</i> .
Castagnola et al. (2023)	Redução bacteriana + Smear layer	Triton ≥ NaOCl+EDTA. Dual Rinse ↓ nos terços médio-apicais. Triton promoveu ↑ remoção de detritos dentinário sem comparação com os restantes irrigantes.	Todos CFU = 0 para <i>Enterococcus faecalis</i> ; Triton superior contra <i>Candida albicans</i>	N/A	Todos apresentaram ≈ eficácia antibacteriana contra <i>Enterococcus faecalis</i> . Triton ≥ NaOCl + EDTA na remoção da <i>smear layer</i> , com ↑ detritos e ↑ ação antifúngica. Dual Rinse ↓ nos terços médio-apicais.

Autor (Ano)	Outcome	Smear layer	Redução bacteriana	Outro outcome	Conclusão
Chen et al. (2025)	Smear layer	Triton > NaOCl + EDTA; em todos os terços, especialmente com ativação.	N/A	N/A	Triton > NaOCl + EDTA; Ativação ↑ a eficácia do Triton.
Halkai, Ishaq, et al. (2025a)	Smear layer	Triton > NaOCl + EDTA > QMix na remoção da smear layer em todos os terços do canal.	N/A	Dissolução Tecidual: ↑ com Triton.	Triton ↑ na remoção da smear layer e dissolução pulpar.
Kamil et al. (2025)	Smear layer	O Dual Rinse e o NaOCl + EDTA apresentaram desempenho semelhante, sendo que a ativação (UAI/laser) melhorou de forma equivalente a eficácia de ambos.	N/A	Microdureza Dual Rinse ↓ redução da microdureza dentinária. NaOCl + EDTA ↑ erosão.	A ativação teve ↑ impacto do que o irrigante; ambos removeram a smear layer, sendo o Dual Rinse mais conservador e o NaOCl + EDTA mais agressivo.
Kfir et al. (2020)	Smear layer	Não se observaram diferenças estatisticamente significativas entre o Dual Rinse e NaOCl + EDTA.	N/A	Erosão: erosão dentinária foi semelhante entre os grupos.	Ambos os protocolos apresentaram comportamento morfológico semelhante, sugerindo equivalência clínica entre eles.
Meyappan et al. (2023)	Smear layer	QMix melhor no terço médio; NaOCl + EDTA foi ↑ no terço apical.	N/A	N/A	A eficácia foi dependente da região do canal radicular.
Sheng et al. (2023)	Redução bacteriana + Smear layer	Triton ≥ NaOCl 6% + EDTA > NaOCl 2% + EDTA	O Triton apresentou CFU = 0 e ↑ redução bacteriana superior à NaOCl + EDTA.	N/A	O Triton mostrou-se mais eficaz e clinicamente simplificado, apresentando dupla eficácia antibacteriana e na remoção da smear layer.
Wakas Oram & Al-Zaka (2024)	Smear layer	NaOCl + EDTA apresentou remoção da smear layer ↑ em todos os terços.	N/A	N/A	O Triton mostrou desempenho ↓ na remoção da smear layer

Legenda: CFU (*Colony Forming Units*), EDTA (Ácido etilenodiamino tetra-acético), HEDP (Ácido 1-hidroxietano-1,1-difosfônico), N/A (Não Aplicável), NaOCl (Hipoclorito de Sódio), < (menor que), > (maior que), ≥ (maior ou igual a), ≈ (aproximadamente igual a), ↑ (aumento), ↓ (diminuição).

A remoção da *smear layer* foi avaliada em 11 estudos (Aoun et al., 2023)(Ballal et al., 2025)(Badoo et al., 2024)(Castagnola et al., 2023)(Chen et al., 2025)(Halkai, Ishaq, et al., 2025a)(Kamil et al., 2025)(Kfir et al., 2020)(Meyappan et al., 2023)(Sheng et al., 2023); (Wakas Oraith & Al-Zaka, 2024) por SEM, com análises diferenciadas para os terços coronal, médio e apical do canal radicular.

Aoun et al. (2023) compararam Dual Rinse® (HEDP + NaOCl 3%) com NaOCl 3% seguido de EDTA 17%. Nos terços coronal e médio não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os dois protocolos. No terço apical, o grupo Dual Rinse apresentou valores SEM inferiores em comparação com o grupo NaOCl + EDTA.

Ballal et al. (2025) compararam Triton All-in-One® com NaOCl 3% + EDTA 17%. Os resultados por SEM demonstraram uma remoção mais eficaz da *smear layer* com NaOCl + EDTA nos terços coronal e médio. No terço apical, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.

Badoo et al. (2024) compararam Triton All-in-One® com NaOCl 5,25% seguido de EDTA 17%. A análise por SEM evidenciou valores inferiores no grupo NaOCl + EDTA em todos os terços do canal.

Castagnola et al. (2023) compararam Triton All-in-One®, Dual Rinse® (HEDP + NaOCl 6%) e NaOCl 6% + EDTA 17%. Os resultados por SEM mostraram que o Triton apresentou os valores mais baixos, seguido de NaOCl + EDTA. O Dual Rinse apresentou valores mais elevados nos terços médio e apical, enquanto no terço coronal os resultados foram semelhantes entre os grupos.

Chen et al. (2025) compararam Triton All-in-One® e NaOCl 6% + EDTA 17%, tanto com irrigação convencional como com ativação laser. O Triton apresentou valores SEM inferiores aos do NaOCl + EDTA em todos os terços do canal, independentemente da modalidade de ativação.

Halkai, Ishaq, et al. (2025a) compararam Triton All-in-One®, QMix 2in1® e NaOCl 2,5% + EDTA 17%. A análise por SEM demonstrou que o Triton apresentou os valores mais baixos de *smear layer* em todos os terços do canal radicular, seguido do NaOCl + EDTA, enquanto o QMix 2in1 apresentou os valores mais elevados, indicando maior quantidade de *smear layer* residual.

Kamil et al. (2025) compararam Dual Rinse® (HEDP + NaOCl 3%) e NaOCl 3% + EDTA 17%, com e sem ativação laser. Nos grupos sem ativação, o NaOCl + EDTA

apresentou valores SEM inferiores em todos os terços do canal. Nos grupos com ativação laser, as diferenças entre os protocolos diminuíram, com valores sobreponíveis em vários terços do canal.

Kfir et al. (2020) compararam Dual Rinse® (HEDP + NaOCl 5,25%) com NaOCl 5,25% + EDTA 17%. A observação por SEM não evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos em nenhum dos terços do canal. Em ambos os grupos, o terço apical apresentou valores SEM mais elevados do que os terços coronal e médio.

Meyappan et al. (2023) compararam QMix 2in1® com NaOCl 3% seguido de EDTA 17% e CHX 2%. No terço coronal não foram observadas diferenças significativas entre os grupos. No terço médio, o QMix apresentou valores SEM inferiores ao protocolo convencional. No terço apical, o protocolo NaOCl + EDTA + CHX apresentou valores SEM inferiores aos do QMix.

Sheng et al. (2023) compararam Triton All-in-One® com NaOCl 2% ou 6% + EDTA 17%. Os resultados por SEM demonstraram uma remoção da *smear layer* comparável ou superior no grupo Triton em todos os terços do canal.

Wakas Oram & Al-Zaka (2024) compararam Triton All-in-One® com NaOCl 5,25% + EDTA 17%. Os resultados por SEM demonstraram maior quantidade de *smear layer* residual no grupo Triton em todos os terços do canal radicular, enquanto o protocolo NaOCl + EDTA apresentou valores inferiores em todas as regiões analisadas.

A redução bacteriana foi avaliada globalmente em quatro estudos (Álvarez-Sagües et al., 2021)(Ballal et al., 2025)(Castagnola et al., 2023)(Sheng et al., 2023) e parcialmente no estudo de Chen et al. (2025) por CLSM.

Álvarez-Sagües et al. (2021) compararam Dual Rinse® (HEDP + NaOCl 5,25%) com NaOCl 5,25% + EDTA 17%. A carga bacteriana de *Enterococcus faecalis* foi quantificada por CFU, utilizando dois sistemas de ativação (PUI e XPF). O grupo NaOCl + EDTA apresentou valores médios de CFU residuais de 2.911 e 2.956 nos subgrupos XPF e PUI, respetivamente. No grupo Dual Rinse, os valores de CFU foram inferiores ao limite de deteção em ambos os subgrupos. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas de ativação para o mesmo irrigante.

Ballal et al. (2025) compararam Triton All-in-One® e NaOCl 3% + EDTA 17%. A redução bacteriana foi avaliada por CFU em dentes humanos extraídos infetados com

Enterococcus faecalis. Ambos os protocolos determinaram uma redução significativa da carga bacteriana relativamente aos valores pré-irrigação. Após o tratamento, os valores medianos de CFU foram iguais a zero em ambos os grupos, sem diferenças estatisticamente significativas.

Castagnola et al. (2023) compararam Triton All-in-One[®], Dual Rinse[®] (HEDP + NaOCl 6%) e NaOCl 6% + EDTA 17%. A redução bacteriana de *Enterococcus faecalis* e *Candida albicans* foi avaliada por CFU e observação por SEM. Para *Enterococcus faecalis*, todos os protocolos apresentaram valores de CFU iguais a zero. Para *Candida albicans*, o Triton apresentou o menor número de CFU residuais, seguido do Dual Rinse, enquanto o protocolo NaOCl + EDTA apresentou valores significativamente mais elevados.

Sheng et al. (2023) compararam Triton All-in-One[®] com NaOCl 2% ou 6% + EDTA 17%. A redução bacteriana foi avaliada por CLSM e CFU. A análise por CLSM demonstrou uma percentagem mais elevada de bactérias viáveis nos grupos tratados com NaOCl 2% + EDTA em comparação com NaOCl 6% + EDTA. O grupo Triton apresentou a maior percentagem de bactérias mortas, tanto na presença como na ausência de *smear layer*. A análise por CFU evidenciou ausência de bactérias viáveis nos espécimes tratados com Triton.

Chen et al. (2025) compararam Triton All-in-One[®] e NaOCl 6% + EDTA 17%. A redução bacteriana foi avaliada por CLSM, tendo sido observada uma percentagem inferior de bactérias viáveis no grupo tratado com Triton em comparação com o grupo NaOCl + EDTA.

Quanto aos *outcomes* secundários, a microdureza dentinária foi avaliada no estudo de Kamil et al. (2025), que comparou Dual Rinse[®] (HEDP + NaOCl 3%) e NaOCl 3% + EDTA 17%. Os resultados demonstraram que os grupos irrigados com NaOCl + EDTA apresentaram valores de microdureza Vickers significativamente inferiores aos dos grupos tratados com Dual Rinse em todos os terços do canal radicular. A análise SEM associada evidenciou, nos espécimes tratados com NaOCl + EDTA, sinais de erosão peritubular e alargamento dos túbulos dentinários, enquanto nos grupos Dual Rinse as superfícies apresentaram uma morfologia mais regular.

A erosão dentinária foi avaliada no estudo de Kfir et al. (2020), que comparou Dual Rinse[®] (HEDP + NaOCl 5,25%) com NaOCl 5,25% + EDTA 17%. A avaliação SEM

não evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre os protocolos Dual Rinse e NaOCl + EDTA.

A citotoxicidade foi avaliada no estudo de Ballal et al. (2025), que comparou Triton All-in-One® com NaOCl 3% + EDTA 17%. Os resultados demonstraram que o Triton apresentou maior citotoxicidade em comparação com o protocolo NaOCl + EDTA, com uma redução dose-dependente da viabilidade celular observada nos ensaios biológicos. O protocolo NaOCl + EDTA apresentou valores de viabilidade celular significativamente mais elevados.

A dissolução do tecido pulpar foi avaliada no estudo de Halkai, Ishaq, et al. (2025a), que comparou Triton All-in-One®, QMix 2in1® e NaOCl 2,5% + EDTA 17%. Os resultados indicaram que todas as soluções testadas foram capazes de dissolver o tecido pulpar, com diferenças avaliadas através da análise direta dos espécimes tratados.

2.6. Discussão

A análise dos 12 estudos incluídos na análise qualitativa revela uma elevada heterogeneidade nos resultados obtidos pelos diferentes protocolos avaliados. Além disso, importa salientar que a maioria dos estudos incluídos foi conduzida *in vitro* ou *ex vivo*, o que constitui uma limitação relevante da presente revisão. Embora os resultados observados em ambiente laboratorial sejam promissores, a sua extrapolação para a prática clínica deve ser interpretada com cautela, uma vez que estes modelos não reproduzem integralmente a complexidade das condições *in vivo*.

Embora estes modelos sejam fundamentais para isolar variáveis e avaliar a capacidade direta de remoção da *smear layer*, eles apresentam limitações severas na reprodução fiel do ambiente clínico. Em condições laboratoriais, o fluxo de irrigação e a profundidade de penetração da agulha muitas vezes não enfrentam os desafios impostos pela anatomia complexa dos canais radiculares *in vivo*, tais como curvaturas severas, istmos e ramificações apicais. Além disso, a ausência de pressão de retroinfusão e do biofilme bacteriano complexo e maduro - frequentemente substituído em laboratório por culturas monoespécie de *Enterococcus faecalis* - pode superestimar a eficácia antimicrobiana real dos novos irrigantes *all-in-one*, como o Triton® ou o QMix®.

A remoção da *smear layer* foi o *outcome* mais frequentemente avaliado e o que apresentou maior variabilidade entre os estudos. De forma geral, os dados disponíveis

não demonstram uma superioridade consistente das soluções *all-in-one* em comparação com o protocolo NaOCl + EDTA.

Relativamente ao Dual Rinse® (HEDP + NaOCl), os estudos indicam uma eficácia globalmente comparável à do protocolo convencional NaOCl + EDTA. Aoun et al. (2023) não encontraram diferenças nos terços coronário e médio, mas observaram melhor remoção no terço apical com Dual Rinse, associada a valores SEM inferiores e superfícies dentinárias mais uniformes, atribuídas à ação preventiva do HEDP na formação da *smear layer* durante a instrumentação.

Outros estudos, como o de Kfir et al. (2020), não observaram diferenças significativas entre os protocolos em nenhum dos terços do canal, indicando uma eficácia de limpeza semelhante e uma redução fisiológica no terço apical.

Em contraste, Castagnola et al. (2023) e Kamil et al. (2025) relataram uma remoção da *smear layer* mais agressiva com NaOCl + EDTA, sobretudo nos terços médio e apical, mas associada a maior variabilidade morfológica e alterações dentinárias. Nestes casos, o Dual Rinse preservou melhor a estrutura, com superfícies mais regulares e menor redução da microdureza.

As discrepâncias podem ser explicadas por diferenças nas concentrações de NaOCl e por variações metodológicas nos protocolos de irrigação e na avaliação por SEM.

Relativamente ao Triton All-in-One®, os resultados sobre a remoção da *smear layer* são contraditórios. Vários estudos (Castagnola et al., 2023), (Chen et al., 2025), (Halkai, Ishaq, et al., 2025a), (Sheng et al., 2023), demonstraram uma eficácia superior ou equivalente à do protocolo NaOCl + EDTA em todos os terços, com superfícies dentinárias mais limpas e túbulos mais expostos, mesmo sem sistemas avançados de ativação.

Chen et al. (2025) reportaram valores SEM significativamente inferiores para o Triton em todos os terços, tanto com irrigação convencional quanto com ativação laser, enquanto Halkai, Ishaq, et al. (2025a) observaram a menor quantidade de *smear layer* comparado com NaOCl + EDTA e QMix, sugerindo boa capacidade detergente e quelante mesmo como solução única.

Em contraste, outros estudos (Ballal et al., 2025), (Bando et al., 2024), (Wakas Orain & Al-Zaka, 2024), indicaram maior eficácia do protocolo tradicional, sobretudo com concentrações mais elevadas de NaOCl, com valores SEM piores para o Triton nos

terços coronário, médio e apical. Bandoo et al. (2024) relataram remoção mais uniforme com NaOCl 5,25% + EDTA 17%, enquanto Wakas Oram & Al-Zaka (2024) e Ballal et al. (2025) confirmaram superior eficácia do protocolo convencional nos terços coronário e médio, sem diferenças significativas no apical.

No conjunto, estas discrepâncias indicam que o Triton All-in-One® não apresenta superioridade consistente na remoção da *smear layer*, sendo a eficácia influenciada por variáveis experimentais como concentração de NaOCl, tempo de contacto, técnica de irrigação e ativação. O terço apical mantém-se como a região mais difícil de desbridar.

Os estudos disponíveis indicam que o QMix 2in1® apresenta eficácia globalmente inferior ao protocolo NaOCl + EDTA e a outros irrigantes *all-in-one* recentes, como Triton All-in-One® e Dual Rinse®. Contudo, o número de estudos é limitado e o único *outcome* avaliado foi a remoção da *smear layer*, permitindo apenas conclusões preliminares.

Nas avaliações SEM, Halkai, Ishaq, et al. (2025a) e Meyappan et al. (2023) verificaram limpeza aceitável nos terços coronário e médio, mas limitações no terço apical comparado com NaOCl + EDTA.

No estudo de Halkai, Ishaq, et al. (2025a), comparando QMix com Triton e NaOCl 2,5% + EDTA 17%, o QMix apresentou os valores SEM mais elevados em todos os terços, indicando menor eficácia. Meyappan et al. (2023) observaram que, no terço coronário, não houve diferenças significativas face ao protocolo sequencial NaOCl 3% + EDTA 17% + CHX 2%, enquanto no terço médio os valores SEM foram inferiores, e no apical o protocolo convencional foi mais eficaz. Estes dados sugerem que a eficácia do QMix depende da capacidade de penetração do irrigante e da complexidade anatómica do terço apical.

Quanto à redução bacteriana, os estudos incluídos não avaliaram diretamente este *outcome*. Com base na literatura, o QMix apresenta boa atividade antimicrobiana devido à CHX, mas sem demonstrar superioridade face às soluções à base de NaOCl.

No que respeita à redução bacteriana, os estudos indicam de forma relativamente consistente que todos os protocolos avaliados são eficazes na diminuição da carga microbiana.

Os estudos indicam que todos os protocolos são eficazes na diminuição da carga microbiana. O Dual Rinse® HEDP, relativamente a *Enterococcus faecalis*, eliminou

completamente as CFU no estudo de Álvarez-Sagües et al. (2021), enquanto NaOCl + EDTA apresentou CFU residuais, sem diferenças atribuíveis à ativação. Castagnola et al. (2023) observaram resultados semelhantes, com CFU zero para ambos os protocolos.

O Triton All-in-One® demonstrou elevada eficácia antibacteriana. Estudos (Ballal et al., 2025), (Castagnola et al., 2023), (Sheng et al., 2023), relataram redução completa ou quase completa das CFU, frequentemente superior ou equivalente a NaOCl + EDTA.

Avaliações por CLSM mostraram menor percentagem de bactérias viáveis nos grupos tratados com Triton, mesmo na presença de *smear layer*, indicando maior penetração nos túbulos e atividade antimicrobiana potencialmente mediada pelos surfactantes da formulação.

Castagnola et al. (2023) relataram também maior eficácia do Triton na redução de *Candida albicans*, com menos CFU residuais comparado com Dual Rinse e protocolo convencional.

O Dual Rinse HEDP® apresenta um perfil favorável de preservação da estrutura dentinária, com uma redução da microdureza significativamente inferior à observada com NaOCl + EDTA e superfícies dentinárias mais regulares, sobretudo ao nível apical (Kamil et al., 2025). A ausência de diferenças significativas em termos de erosão dentinária relativamente ao protocolo tradicional (Kfir et al., 2020) sugere uma ação quelante do HEDP mais gradual e controlada.

Outro aspeto crítico a considerar na translação dos dados laboratoriais para a prática clínica é o impacto mecânico destas soluções na estrutura dentinária. Vários estudos incluídos nesta revisão avaliaram a eficácia das soluções *all-in-one* na manutenção das propriedades físicas da dentina conforme demonstrado por Kamil et al., 2025 e Kfir et al., 2020.

Contudo, a exposição controlada de dentes extraídos a estas substâncias químicas não mimetiza o envelhecimento biológico nem a fadiga cíclica a que o órgão dentário é submetido na cavidade oral. Protocolos tradicionais de NaOCl seguidos de EDTA, embora complexos, possuem um comportamento clínico amplamente documentado a longo prazo. Assim, apesar de os dados *in vitro* sugerirem que os irrigantes *all-in-one* minimizam a erosão dentinária intratubular, estes achados devem ser interpretados com cautela, uma vez que o comportamento dinâmico da dentina vital e a sua interação com

as forças mastigatórias não podem ser totalmente reproduzidos em ambiente de laboratório.

O Triton All-in-One® apresenta uma boa capacidade de dissolução do tecido pulpar, mas está associado a uma citotoxicidade significativamente superior em comparação com NaOCl + EDTA, com potenciais implicações clínicas em caso de extrusão apical (Ballal et al., 2025), (Halkai, Ishaq, et al., 2025a).

A escassez de ensaios clínicos controlados e randomizados (RCTs) na literatura atual representa o maior obstáculo à recomendação universal dos irrigantes *all-in-one* como substitutos definitivos do padrão de ouro atual. A simplificação operatória proposta por estas novas soluções é inegavelmente vantajosa, reduzindo o tempo de cadeira e mitigando o risco de acidentes operatórios decorrentes de misturas inadvertidas de soluções incompatíveis. No entanto, a evidência científica compilada neste trabalho assenta essencialmente em parâmetros de substituição (como contagem de colônias em placas de Petri ou pontuações visuais em SEM). Torna-se, por isso, imperativo o desenvolvimento de estudos clínicos longitudinais que avaliem desfechos reais, tais como a taxa de sucesso do tratamento endodôntico a longo prazo, a incidência de dor pós-operatória e a reparação de lesões periapicais.

O QMix 2in1® demonstra uma capacidade de dissolução tecidular comparável à do Triton; no entanto, a ausência de NaOCl e o número limitado de estudos disponíveis requerem evidência adicional para definir o seu real impacto clínico (Halkai, Ishaq, et al., 2025a).

3. CONCLUSÃO

Existe evidência que os irrigantes *all-in-one* constituem uma alternativa válida aos protocolos convencionais de irrigação endodôntica, embora não representem, de forma consistente, um substituto universal do protocolo NaOCl + EDTA. Este último mantém-se como o padrão de referência em termos de previsibilidade morfológica e eficácia na remoção da *smear layer*, particularmente ao longo de todo o comprimento do canal radicular.

Os irrigantes *all-in-one* demonstram uma eficácia antimicrobiana globalmente elevada, frequentemente comparável ou superior à do protocolo tradicional, associada a uma ação relevante sobre biofilmes. Contudo, a sua capacidade de remoção da *smear layer* revela-se dependente da formulação específica, da região do canal radicular e da utilização de técnicas de ativação, apresentando limitações mais evidentes no terço apical.

Para além da eficácia desinfetante, o impacto na estrutura dentinária constitui um aspeto central na avaliação destas soluções irrigantes. Entre os irrigantes analisados, o Dual Rinse HEDP® demonstra maior preservação da dentina, com menor erosão e menor redução da microdureza quando comparado com a sequência NaOCl + EDTA.

O Triton All-in-One®, apesar da sua elevada potência antimicrobiana, apresenta maior variabilidade nos resultados morfológicos e um perfil biológico menos favorável, o que limita a sua aplicação como alternativa de primeira linha. Por sua vez, o QMix 2in1® evidencia um desempenho mais modesto, sendo mais indicado como irrigante complementar ou como solução final.

Deste modo, o protocolo NaOCl + EDTA continua a representar a abordagem mais previsível na prática clínica endodôntica. Ainda assim, os irrigantes *all-in-one* constituem alternativas modernas e biologicamente orientadas, com potencial para simplificar o procedimento clínico e oferecer vantagens relevantes.

Contudo, a heterogeneidade dos resultados disponíveis e as diferenças entre formulações reforçam a necessidade de estudos metodologicamente padronizados e de RCTs que permitam confirmar a sua eficácia e definir com maior precisão o papel destas soluções na prática endodôntica contemporânea. Em conclusão, estes irrigantes demonstram um potencial promissor em ambiente laboratorial, mas as evidências

atualmente disponíveis ainda são insuficientes para justificar a sua substituição do protocolo convencional NaOCl + EDTA.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Sagües, A., Herce, N., Amador, U., Llinares-Pinel, F., Nistal-Villan, E., Presa, J., Álvarez, L., & Azabal, M. (2021). Efficacy of EDTA and HEDP Chelators in the Removal of Mature Biofilm of *Enterococcus faecalis* by PUI and XPF File Activation. *Dentistry Journal*, 9(4), 41. <https://doi.org/10.3390/dj9040041>
- Aoun, C., Rechenberg, D.-K., Karam, M., Mhanna, R., Plotino, G., & Zogheib, C. (2023). Effect of continuous chelation irrigation using DualRinse HEDP + 3% NaOCL with or without high-power sonic activation on debris and smear layer removal. *European Endodontic Journal*. <https://doi.org/10.14744/eej.2022.93064>
- Ballal, N. V., Narkedamalli, R., Gandhi, P., Arias-Moliz, M. T., Baca, P., Das, S., Varghese, J., Gaonkar, S. L., Rao, B. S. S., Frazier, J., Bergeron, B. E., & Tay, F. R. (2023). Biological and chemical properties of 2-in-1 calcium-chelating and antibacterial root canal irrigants. *Journal of Dentistry*, 134, 104526. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104526>
- Ballal, N. V., Narkedamalli, R., Shenoy, P. A., Das, S., Balasubramanian, S. K., Varghese, J., Dsouza, H. S., Epps, K., Ravenel, T., & Tay, F. R. (2025). Biological and chemical properties of new multi-functional root canal irrigants. *Journal of Dentistry*, 153, 105551. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105551>
- Bandoo, C., Suliman, S., Trestrail, E., & Marchan, S. M. (2024). The Effectiveness of Triton Used With XP-3D Adaptive Files and Active Irrigation on Smear Layer Removal During Root Canal Preparation: A Qualitative Scanning Electron Microscopy (SEM) Study. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.73057>
- Boutsioukis, C., & Arias-Moliz, M. T. (2022). Present status and future directions – irrigants and irrigation methods. *International Endodontic Journal*, 55(S3), 588–612. <https://doi.org/10.1111/iej.13739>
- Campello, A. F., Rodrigues, R. C. V., Alves, F. R. F., Miranda, K. R., Brum, S. C., Mdala, I., Siqueira, J. F., & Rôças, I. N. (2022). Enhancing the Intracanal Antibacterial Effects of Sodium Hypochlorite with Etidronic Acid or Citric Acid. *Journal of Endodontics*, 48(9), 1161–1168. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2022.06.006>
- Castagnola, R., Martini, C., Colangeli, M., Pellicciotta, I., Marigo, L., Grande, N. M., Bugli, F., & Plotino, G. (2023). In Vitro Evaluation of Smear Layer and Debris Removal and Antimicrobial Activity of Different Irrigating Solutions. *European Endodontic Journal*, 81–88. <https://doi.org/10.14744/eej.2023.19042>
- Chen, Y., Watanabe, S., Myint, P. Y. A., Mochizuki, S., & Okiji, T. (2025). Comparisons of the smear layer removal efficacy of dual-action irrigants and different activation techniques. *Journal of Dental Sciences*, 20(2), 877–884. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2024.09.003>
- Emekli, G. E., Kaptan, R. F., & Tanalp, J. (2025). Evaluation of the effects of traditional irrigation solutions and etidronic acid on the bond strength of endodontic sealers. *BMC Oral Health*, 25(1), 364. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05678-z>
- Giardino, L., Del Fabbro, M., Morra, M., Pereira, T., Bombarda De Andrade, F., Savadori, P., & Generali, L. (2019). Dual Rinse® HEDP increases the surface tension of NaOCl but may increase its dentin disinfection efficacy. *Odontology*, 107(4), 521–529. <https://doi.org/10.1007/s10266-019-00436-4>

- Gupta, S., Narkedamalli, R., Shetty, K. P., & Ballal, N. V. (2025). Physical and Chemical Properties of All-in-One Root Canal Irrigants: A Laboratory Study. *European Journal of Dentistry*, s-0045-1812107. <https://doi.org/10.1055/s-0045-1812107>
- Haapasalo, M., Shen, Y., Qian, W., & Gao, Y. (2010). Irrigation in Endodontics. *Dental Clinics of North America*, 54(2), 291–312. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2009.12.001>
- Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2014). Irrigation in endodontics. *British Dental Journal*, 216(6), 299–303. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2014.204>
- Halkai, R., Ishaq, S. S., & Halkai, K. R. (2025a). Comparison of human pulpal dissolution and removal of smear layer by triton and Qmix 2 in 1 solution: An in vitro study. *Saudi Endodontic Journal*, 15(3), 245–251. https://doi.org/10.4103/sej.sej_12_25
- Halkai, R., Ishaq, S. S., & Halkai, K. R. (2025b). Effect of newer irrigating solution Triton on the root dentinal surface roughness and microhardness: An in vitro study. *Endodontology*. https://doi.org/10.4103/endo.endo_18_25
- Halkai, R., Vidyananda, & Halkai, K. R. (2025). Effect of newer all-in-one irrigants on root dentin wettability and surface roughness – An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(8), 790–794. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_364_25
- Jain, D., Shetty, K. P., Luke, A. M., & Ballal, N. V. (2024). Root canal irrigants effect on the compressive strength and calcium ion release of Biodentine. *Heliyon*, 10(18), e38267. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38267>
- Kamath, S., Narkedamalli, R., Shetty, K. P., & Ballal, N. V. (2025). Effect of Novel All-in-One Root Canal Irrigants on Dislodgement Resistance of Epoxy Resin and Hydraulic Calcium Silicate Sealers: An Ex vivo Study. *European Journal of Dentistry*, s-0045-1811574. <https://doi.org/10.1055/s-0045-1811574>
- Kamil, A. A., Ali, A. H., Foschi, F., & Mannocci, F. (2025). Effectiveness of Continuous and Sequential Chelation and Different Agitation Techniques on Smear Layer Removal and Microhardness of Root Canal Dentin (An In Vitro Study). *Dentistry Journal*, 13(5), 221. <https://doi.org/10.3390/dj13050221>
- Kfir, A., Goldenberg, C., Metzger, Z., Hülsmann, M., & Baxter, S. (2020). Cleanliness and erosion of root canal walls after irrigation with a new HEDP-based solution vs. Traditional sodium hypochlorite followed by EDTA. A scanning electron microscope study. *Clinical Oral Investigations*, 24(10), 3699–3706. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03249-w>
- Kottathil, H., Zehnder, M., Gubler, A., Attin, T., Narkedamalli, R., & Ballal, N. V. (2024). Compatibility of Dual Rinse 1-Hydroxyethane-1,1-Diphosphonic Acid with Sodium Hypochlorite Solutions Containing Proprietary Additives. *Journal of Endodontics*, 50(10), 1472–1477. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.07.007>
- Meyappan, N., Mahadevan, M., Manimaran, N. D., Paulaiian, B., Gopal, R., & Kumar, N. (2023). Scanning Electron Microscopy Analysis of Smear Layer Removal Ability of Conventional Endodontic Irrigation Regimen, MTAD, and QMix™ Versus a Mixture of Azadirachta indica and Citrus limon: An In Vitro Study. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.42877>

- Munoz, H. R., & Camacho-Cuadra, K. (2012). In Vivo Efficacy of Three Different Endodontic Irrigation Systems for Irrigant Delivery to Working Length of Mesial Canals of Mandibular Molars. *Journal of Endodontics*, 38(4), 445–448. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.12.007>
- Naenni, N., Thoma, K., & Zehnder, M. (2004). Soft Tissue Dissolution Capacity of Currently Used and Potential Endodontic Irrigants. *Journal of Endodontics*, 30(11), 785–787. <https://doi.org/10.1097/00004770-200411000-00009>
- Neelakantan, P., Ounsi, H. F., Devaraj, S., Cheung, G. S. P., & Grandini, S. (2018). Effectiveness of irrigation strategies on the removal of the smear layer from root canal dentin. *Odontology*, 107(2), 142–149. <https://doi.org/10.1007/s10266-018-0373-2>
- Prado, M., Santos Júnior, H. M., Rezende, C. M., Pinto, A. C., Faria, R. B., Simão, R. A., & Gomes, B. P. F. A. (2013). Interactions between Irrigants Commonly Used in Endodontic Practice: A Chemical Analysis. *Journal of Endodontics*, 39(4), 505–510. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.11.050>
- Şen, B. H., Wesselink, P. R., & Türkün, M. (1995). The smear layer: A phenomenon in root canal therapy. *International Endodontic Journal*, 28(3), 141–148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1995.tb00289.x>
- Shahravan, A., Haghdoust, A., Adl, A., Rahimi, H., & Shadifar, F. (2007). Effect of Smear Layer on Sealing Ability of Canal Obturation: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 33(2), 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.10.007>
- Shalavi, S., & Mohammadi, Z. (2021). An Overview on a Promising Root Canal Irrigation Solution: QMix. *Iranian Endodontic Journal*, 16(2), 71–77. <https://doi.org/10.22037/iej.v16i2.27912>
- Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Gherzi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & the PRISMA-P Group. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: Elaboration and explanation. *BMJ*, 349(jan02 1), g7647–g7647. <https://doi.org/10.1136/bmj.g7647>
- Sheng, X., Yu, J., Liu, H., Wang, Z., Deng, S., & Shen, Y. (2023). Dual effectiveness of a novel all-in-one endodontic irrigating solution in antibiofilm activity and smear layer removal. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1254927. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1254927>
- Sheth, V. H., Shah, N. P., Jain, R., Bhanushali, N., & Bhatnagar, V. (2024). Development and validation of a risk-of-bias tool for assessing in vitro studies conducted in dentistry: The QUIN. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(6), 1038–1042. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.05.019>
- Silva, P. V., Guedes, D. F. C., Nakadi, F. V., Pécora, J. D., & Cruz-Filho, A. M. (2012). Chitosan: A new solution for removal of smear layer after root canal instrumentation. *International Endodontic Journal*, 46(4), 332–338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02119.x>
- Siqueira Junior, J. F., Rôças, I. D. N., Marceliano-Alves, M. F., Pérez, A. R., & Ricucci, D. (2018). Unprepared root canal surface areas: Causes, clinical implications, and

- therapeutic strategies. *Brazilian Oral Research*, 32(suppl 1). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0065>
- Stojicic, S., Zivkovic, S., Qian, W., Zhang, H., & Haapasalo, M. (2010). Tissue Dissolution by Sodium Hypochlorite: Effect of Concentration, Temperature, Agitation, and Surfactant. *Journal of Endodontics*, 36(9), 1558–1562. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.06.021>
- Swimberghe, R. C. D., Coenye, T., De Moor, R. J. G., & Meire, M. A. (2019). Biofilm model systems for root canal disinfection: A literature review. *International Endodontic Journal*, 52(5), 604–628. <https://doi.org/10.1111/iej.13050>
- Tawakoli, P. N., Ragnarsson, K. T., Rechenberg, D. K., Mohn, D., & Zehnder, M. (2017). Effect of endodontic irrigants on biofilm matrix polysaccharides. *International Endodontic Journal*, 50(2), 153–160. <https://doi.org/10.1111/iej.12604>
- Violich, D. R., & Chandler, N. P. (2010). The smear layer in endodontics – a review. *International Endodontic Journal*, 43(1), 2–15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01627.x>
- Wakas Oram, H., & Al-Zaka, I. M. (2024). Effectiveness of Triton Irrigation Solution in Smear Layer Removal: An in-vitro Study. *European Endodontic Journal*, 139–145. <https://doi.org/10.14744/eej.2023.58070>
- Zehnder, M. (2006). Root Canal Irrigants. *Journal of Endodontics*, 32(5), 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.014>