

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

TÉCNICAS DE IRRIGAÇÃO EM ENDODONTIA: UMA REVISÃO NARRATIVA

Trabalho submetido por
António Maria Branco de Araújo Marques Agostinho
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Setembro de 2025

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

TÉCNICAS DE IRRIGAÇÃO EM ENDODONTIA: UMA REVISÃO NARRATIVA

Trabalho submetido por
António Maria Branco de Araújo Marques Agostinho
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutor Mário Rito Pereira

Setembro de 2025

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof Doutor Mário Rito Pereira por toda a disponibilidade, ensinamento paciência e esforço ao longo destes 3 anos de pré-clínico e orientação do meu projeto final neste último ano de curso.

À Egas Moniz por se ter tornado um porto de abrigo, um lugar onde sei que poderei sempre retornar.

À Associação Académica do Instituto Universitário Egas Moniz por me ter tornado numa pessoa melhor, por me ter ensinado a lidar com percalços e desafios que a vida possa trazer, e me ter dado alguma responsabilidade.

Ao Recreativo por ser a minha maior fonte de alegria e amizade.

À TinTuna, por ter sido tudo isto que o resto foi, e muito mais. Aqui sei que estou em casa e levo de certeza comigo amigos para a vida. Foi o meu maior orgulho e de longe o melhor que fiz nesta academia

A todos os professores e funcionários que fizeram parte do meu percurso académico.

Aos meus pais, Cristina Araújo e Miguel Agostinho por me terem proporcionado uma experiência de 5 anos que nunca me vou esquecer. Por me terem tornado no homem que sou, e que serei. A vocês estou vos eternamente grato.

Aos meus irmãos por serem quem são, muito obrigado Maria e Miguel.

A todos os meus amigos que estiveram sempre do meu lado e que se tornaram na minha segunda família.

Por fim, à minha namorada, por me ter acompanhado e aturado nestes últimos anos de curso. És sem dúvida a pessoa mais importante para mim e não teria conseguido nada disto sem o teu apoio, o teu amor.

RESUMO

A irrigação no tratamento endodôntico desempenha um papel fundamental na limpeza e desinfecção do sistema de canais radiculares, cuja anatomia dos mesmos se apresenta, hoje em dia, como um dos maiores obstáculos a essa desinfecção. A limpeza química e a desinfecção são etapas essenciais para a eliminação de infecções durante o tratamento do canal radicular.

É neste contexto que surge a preparação mecânica dos canais radiculares, durante o tratamento endodôntico, visando providenciar espaço para os irrigantes atuarem. Contudo, a produção de *smear layer* e detritos de dentina, erros iatrogênicos, enfraquecimento da estrutura da raiz e formação de fissuras apicais continuam a ser desvantagens da instrumentação dos canais radiculares, fazendo com que uma técnica sem instrumentação fosse o método ideal para a limpeza e desinfecção do sistema de canais radiculares (Şen et al., 1995; Gorni & Gagliani, 2004; Wu et al., 2000; Shemesh et al., 2006). Os objetivos da irrigação do sistema de canais radiculares são a dissolução e a remoção de tecido pulpar, detritos dentinários, *smear layer*, microrganismos e seus derivados das paredes do canal radicular, garantindo a sua eliminação do sistema de canais radiculares. Existem atualmente diversos métodos e sistemas de irrigação que pretendem alcançar estes objetivos e ultrapassar os obstáculos quer da anatomia do sistema de canais radiculares quer da contaminação bacteriana dos mesmos. Atualmente, a irrigação tradicional com agulha e seringa permanece como a mais empregue na prática clínica e durante o tratamento endodôntico (Dutner et al., 2012; Savani et al., 2014;). Contudo, a busca pela melhoria da segurança e eficácia da irrigação levou ao desenvolvimento de outros sistemas (Gu et al., 2009). Combinando vários métodos para ativar o irrigante após a sua distribuição no canal radicular utilizando o método da seringa e agulha, foi possível criar uma variedade de técnicas de irrigação. Com esta revisão pretende-se abordar e comparar os diversos métodos e técnicas de irrigação no tratamento endodôntico.

Palavras-chave: Irrigação Endodôntica; Tratamento Endodôntico; Técnicas de Irrigação; Soluções irrigantes.

ABSTRACT

Irrigation in endodontic treatment plays a fundamental role in the cleaning and disinfection of the root canal system, whose anatomy presents itself today as one of the greatest obstacles to this disinfection. Chemical cleaning and disinfection are essential steps for the elimination of infections during root canal treatment.

It is in this context that the mechanical preparation of root canals emerges during endodontic treatment, aiming to provide space for irrigants to act. However, the production of smear layer and dentin debris, iatrogenic errors, weakening of the root structure, and the formation of apical fissures continue to be disadvantages of root canal instrumentation, making a technique without instrumentation the ideal method for cleaning and disinfecting the root canal system (Şen et al., 1995; Gorni & Gagliani, 2004; Wu et al., 2000; Shemesh et al., 2006).

The objectives of root canal system irrigation are the dissolution and removal of pulp tissue, dentin debris, smear layer, microorganisms, and their derivatives from the root canal walls, ensuring their elimination from the root canal system. There are currently various methods and irrigation systems that aim to achieve these objectives and overcome the obstacles of both the anatomy of the root canal system and its bacterial contamination.

Currently, traditional irrigation with needle and syringe remains the most commonly used in clinical practice and during endodontic treatment (Dutner et al., 2012; Savani et al., 2014;). However, the search for improved safety and efficacy of irrigation has led to the development of other systems (Gu et al., 2009). By combining various methods to activate the irrigant after its distribution in the root canal using the syringe and needle method, it was possible to create a variety of irrigation techniques. With this review, the aim is to address and compare the various methods and techniques of irrigation in endodontic treatment.

Keywords: Endodontic Irrigation; Endodontic Treatment; Irrigation Techniques; Irrigating Solutions.

ÍNDICE GERAL

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE GERAL.....	5
ÍNDICE DE TABELAS.....	11
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	13
I. INTRODUÇÃO.....	15
II. DESENVOLVIMENTO	17
1 – Enquadramento do Tratamento Endodôntico.....	17
1.1 Importância clínica e objetivos.....	17
1.2 Etapas do tratamento	17
1.3 Diagnóstico e plano de tratamento	17
1.4 Abertura coronária.....	18
1.5 Determinação do comprimento de trabalho e instrumentação	18
1.6 Irrigação.....	18
1.7 Obturação e restauração coronária	19
2 – Desinfecção e Técnicas de Irrigação em Endodontia	19
2.1 A importância da desinfecção	19
2.2 Complexidade anatômica e barreiras à desinfecção.....	19
2.3 Necessidade de novas técnicas de irrigação	20

3 – Soluções irrigantes e propriedades desejáveis	20
3.1 Hipoclorito de sódio (NaOCl)	21
3.2 Ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA).....	22
3.3 Clorexidina (CHX)	23
3.4 Soluções adicionais e novos irrigantes	23
3.5 Protocolo de irrigação recomendado	23
4- Técnicas e métodos de irrigação	24
4.1 Método de entrega vs. métodos de ativação do irrigante	24
4.2 Irrigação com seringa/agulha.....	24
4.2.1 Hidrodinâmica e alcance do irrigante	25
4.2.2 Design da agulha: ponta aberta vs. saída lateral	25
4.2.3 Segurança e extrusão.....	27
4.2.4 Eficácia microbiológica	27
4.2.5 Estratégias de otimização.....	28
4.2.6 Limitações e implicações clínicas.....	28
4.3 Irrigação com pressão apical negativa (PAN)	28
4.3.1 Mecanismo de ação.....	29
4.3.2 Eficácia na limpeza e desinfecção	29
4.3.4 Segurança clínica	29
4.3.5 Protocolos de utilização	29

4.3.6 Vantagens.....	29
4.3.7 Limitações.....	29
4.3.8 Síntese crítica	30
4.4 Ativação Manual Dinâmica (AMD).....	30
4.4.1 – Mecanismo de ação.....	30
4.4.2 – Protocolos clínicos	30
4.4.3 – Eficácia na limpeza e desinfecção	31
4.4.4 – Vantagens.....	31
4.4.5 – Limitações.....	31
4.4.6 – Síntese crítica	32
4.5 Ativação sónica.....	32
4.5.1 Dispositivos mais comuns	32
4.5.2 Protocolos clínicos	33
4.5.3 Vantagens.....	33
4.5.4 Limitações.....	33
4.5.5 Síntese crítica	33
4.6 Irrigação ultrassónica passiva (PUI).....	33
4.6.1 Mecanismo de ação e eficácia de limpeza	34
4.6.2 Protocolos de ativação	34
4.6.3 Vantagens da técnica.....	35

4.6.4 Limitações e precauções	35
4.6.5 Contexto clínico e recomendações.....	36
4.7 Irrigação ativada por laser	36
4.7.1 Mecanismo de ação.....	36
4.7.2 Eficácia na remoção de <i>smear layer</i> e biofilme.....	36
4.7.3 Vantagens.....	37
4.7.4 Limitações.....	37
4.7.5 Síntese crítica	37
5 - Comparação entre as técnicas de ativação do irrigante	38
5.1 AMD vs. Sónica	39
5.1.1 Remoção de <i>smear layer</i> e detritos.....	39
5.1.2 Eficácia antimicrobiana	39
5.1.3 Síntese crítica	39
5.2 AMD vs. PUI.....	40
5.2.1 Remoção de <i>smear layer</i> e detritos.....	40
5.2.2 Eficácia antimicrobiana	40
5.2.3 Síntese crítica	40
5.3 AMD vs. Laser (PIPS/Er:YAG).....	40
5.3.1 Remoção de <i>smear layer</i> e detritos.....	40
5.3.2 Eficácia antimicrobiana	41

5.3.3 Síntese crítica	41
5.4 Sónica vs. PUI	41
5.4.1 Remoção de <i>smear layer</i> e detritos	41
5.4.2 Eficácia antimicrobiana	41
5.4.3 Síntese crítica	42
5.5 Sónica vs. Laser (PIPS)	42
5.5.1 Remoção de <i>smear layer</i> e detritos	42
5.5.2 Eficácia antimicrobiana	42
5.5.3 Síntese crítica	43
5.6 PUI vs. Laser (PIPS).....	43
5.6.1 Remoção de <i>smear layer</i> e detritos	43
5.6.2 Eficácia antimicrobiana	44
5.6.3 Síntese crítica	44
III. CONCLUSÃO	47
IV. REFERÊNCIAS	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1– Tipos de agulhas de irrigação, padrões de fluxo e implicações clínicas

Tabela 2– Comparação das Técnicas de Ativação do Irrigante *in vitro*

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- ADM – Ativação Dinâmica Manual
- CFD – Dinâmica de fluidos computacional (*Computational Fluid Dynamics*)
- CFU – Unidades Formadoras de Colónia (*Colony Forming Units*)
- EA – EndoActivator®
- EDDY® – Sistema sónico polimérico
- EDTA – Ácido etilenodiaminotetracético
- Er:YAG – Laser de érbio: ítrio-alumínio-granada
- PAN – Pressão apical negativa
- PIPS – *Photon-Induced Photoacoustic Streaming*
- PUI – Irrigação ultrassónica passiva (*Passive Ultrasonic Irrigation*)
- RCT – Ensaio Clínico Randomizado (*Randomized Controlled Trial*)
- SEM – Microscopia Eletrónica de Varrimento (*Scanning Electron Microscopy*)
- WL – Comprimento de trabalho (*Working Length*)

I. INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico é uma das intervenções mais frequentes em medicina dentária, (León-López et al., 2022) tendo como principal objetivo a eliminação e prevenção da infecção pulpar e periapical, seguida da obturação tridimensional do sistema de canais radiculares (Siqueira & Rôças, 2008). O sucesso clínico depende da conjugação de etapas fundamentais: diagnóstico correto, acesso coronário adequado, instrumentação mecânica, irrigação eficaz, obturação hermética e restauração definitiva (Haapasalo et al., 2014).

A instrumentação mecânica, embora essencial para modelar o canal e permitir acesso aos irrigantes, é incapaz de remover completamente os microrganismos e detritos, deixando até 35% da superfície radicular não preparada (Peters, 2004). Esta limitação torna a irrigação química indispensável, já que permite alcançar zonas não tocadas pelos instrumentos, dissolver tecido orgânico, remover *smear layer* e reduzir significativamente a carga microbiana (Haapasalo et al., 2005; Violich & Chandler, 2010).

O sistema de canais radiculares apresenta uma anatomia altamente complexa, com istmos, canais laterais, ramificações e irregularidades que dificultam a completa desinfecção (Vertucci, 1984). Microrganismos como *Enterococcus faecalis* têm capacidade de resistir em nichos anatómicos e biofilmes, mesmo após instrumentação (Siqueira & Rôças, 2008). A irrigação, portanto, assume um papel central na eliminação destes microrganismos e na criação de condições para a cicatrização periapical.

Diversos irrigantes foram estudados, destacando-se o hipoclorito de sódio (NaOCl) pela sua ação antimicrobiana e capacidade de dissolução tecidual, o EDTA pela remoção da *smear layer* inorgânica e a clorohexidina pela sua substantividade (Haapasalo et al., 2014). Contudo, nenhum irrigante isolado reúne todas as propriedades desejáveis, levando ao uso de protocolos combinados (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022).

Paralelamente, diferentes técnicas de entrega e ativação dos irrigantes foram desenvolvidas para superar as limitações da irrigação manual. A irrigação sônica, a irrigação ultrassônica passiva (PUI) e a ativação por laser (PIPS) são alguns exemplos de abordagens que procuram aumentar a penetração, agitação e renovação dos irrigantes, melhorando a eficácia antimicrobiana e a remoção de detritos (Gu et al., 2009; Mozo et al., 2012; Plotino et al., 2016).

Esta revisão narrativa tem como objetivo descrever e comparar diferentes métodos de irrigação endodôntica — irrigação com seringa, ativação sônica, ultrassônica passiva, laser e EndoVac® — descrevendo as suas eficácias, vantagens e limitações, à luz da literatura científica atual, de forma a contribuir para uma prática clínica mais informada e baseada na evidência.

II. DESENVOLVIMENTO

1 – Enquadramento do Tratamento Endodôntico

1.1 Importância clínica e objetivos

O tratamento endodôntico tem como objetivo eliminar e prevenir a infecção pulpar e periapical, promovendo a cicatrização dos tecidos perirradiculares e prevenindo a reinfeção do sistema de canais radiculares. O sucesso clínico depende da correta execução de várias etapas: diagnóstico adequado, acesso e instrumentação eficazes, irrigação ativa e segura, obturação tridimensional hermética e restauração coronária de qualidade (Siqueira & Rôças, 2008; Haapasalo et al., 2014; Wu et al 2000).

Revisões sistemáticas mostram taxas de sucesso que variam entre 60% e 96%, destacando como fatores determinantes o estado pulpar e periapical pré-operatório, a qualidade da obturação e a selagem coronária (Ng et al., 2007; Ng et al., 2008; Ng et al., 2011; Gillen et al., 2011).

1.2 Etapas do tratamento

O tratamento endodôntico moderno divide-se em diagnóstico e plano terapêutico, abertura de acesso, determinação do comprimento de trabalho e instrumentação, irrigação, obturação e restauração coronária. Esta sequência está alinhada com as recomendações atuais da European Society of Endodontology (ESE, 2019).

1.3 Diagnóstico e plano de tratamento

O diagnóstico baseia-se na anamnese, na realização de testes de sensibilidade pulpar, na avaliação clínica e radiográfica e, quando indicado, na tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT). Estes exames permitem determinar a vitalidade pulpar, o estado periapical e as características anatômicas (ESE, 2006; ESE, 2019). Um diagnóstico rigoroso é essencial para a seleção do tratamento mais adequado

1.4 Abertura coronária

A abertura coronária deve proporcionar um acesso direto e retilíneo ao sistema de canais, garantindo segurança na instrumentação e eficácia na irrigação. O equilíbrio entre acesso funcional e preservação de dentina pericervical é fundamental para manter a resistência estrutural do dente (Peters, 2004; 2016; Arias et al., 2022).

1.5 Determinação do comprimento de trabalho e instrumentação

O comprimento de trabalho deve ser estabelecido, idealmente, com localizadores apicais eletrônicos e confirmado radiograficamente, uma vez que estes dispositivos demonstram elevada precisão (Simon, 2009).

A criação de uma via de permeabilidade e o pré-alargamento coronal reduzem riscos de transporte e fratura, melhoram o controlo do comprimento de trabalho e favorecem a irrigação (Plotino et al., 2020;).

O preparo deve obedecer aos princípios descritos por Schilder, que defendem uma forma cônica contínua e centrada, adaptada aos conceitos atuais de preservação estrutural e ao uso de instrumentos de NiTi (Schilder, 1967/2006; Arias et al., 2022).

1.6 Irrigação

A instrumentação, incapaz de alcançar toda a superfície canalar, torna a irrigação o principal meio de desinfecção, responsável pela dissolução de tecidos orgânicos, remoção do *smear layer* e redução da carga microbiana (Haapasalo et al., 2014).

O NaOCl é o irrigante de eleição, pela sua capacidade antimicrobiana e de dissolução tecidual, potenciada quando aquecido (Sirtes et al., 2005). O EDTA a 17% remove a componente inorgânica do *smear layer* (Calt & Serper, 2002). A clorohexidina apresenta substantividade antimicrobiana, mas não dissolve tecido e não deve ser usada em conjunto com NaOCl devido à formação de precipitados (Rosenthal, Spångberg, & Safavi, 2004; Basrani et al., 2007).

A irrigação convencional com seringa e agulha apresenta limitações, sobretudo no terço apical, onde ocorrem fenómenos de fluxo localizado e *vapor lock*. Para ultrapassar estas barreiras, foram desenvolvidos métodos de ativação — sónica, ultrassónica passiva (PUI), laser (PIPS) e

pressão apical negativa (EndoVac®) — são alguns exemplos que aumentam a substituição do irrigante e melhoram a sua eficácia antimicrobiana (Boutsioukis, Lambrianidis, & Kastrinakis, 2009; Boutsioukis et al., 2010; Tay et al., 2010; Nielsen & Baumgartner, 2007).

1.7 Obturação e restauração coronária

A obturação tridimensional deve preencher o sistema de canais em toda a sua extensão, impedindo infiltrações. A técnica de Schilder, baseada na guta-percha e num selador adequado, continua a ser uma referência (Schilder, 1967/2006). O extravasamento do material obturador está associado a menor taxa de sucesso (Ng et al., 2008).

A restauração coronária é determinante para o prognóstico a longo prazo. Estudos indicam que a sua qualidade tem impacto comparável ao da obturação endodôntica na taxa de cicatrização e na sobrevivência dentária (Ng et al., 2011; Gillen et al., 2011).

2 – Desinfecção e Técnicas de Irrigação em Endodontia

2.1 A importância da desinfecção

A desinfecção do sistema de canais radiculares é considerada o passo central do tratamento endodôntico, já que a persistência bacteriana após a instrumentação está fortemente associada ao insucesso clínico (Siqueira & Rôças, 2008). Mesmo quando a instrumentação é adequada, microrganismos podem permanecer em áreas não tocadas pelos instrumentos, perpetuando a inflamação periapical (Beus, C et al., 2012).

2.2 Complexidade anatômica e barreiras à desinfecção

O sistema de canais radiculares apresenta grande variabilidade morfológica, incluindo canais laterais, istmos, deltas apicais e ramificações secundárias que tornam impossível a ação mecânica direta em todas as superfícies (Vertucci, 1984; Peters, 2004). Estudos com micro-CT confirmam que até 35% da superfície canalar pode permanecer não instrumentada mesmo após protocolos modernos de preparação mecânica (Peters, 2004). Além disso, fenômenos como o *vapor lock*, em que bolhas de ar aprisionadas no terço apical impedem a renovação do irrigante, podem reduzir ainda mais a eficácia da irrigação convencional (Tay et al., 2010).

Outro desafio é a presença de biofilmes estruturados, que exibem elevada resistência aos irrigantes e antibióticos devido à sua matriz extracelular e organização tridimensional (Siqueira & Rôças, 2008; Ricucci & Siqueira, 2010).

Estes fatores explicam porque a simples associação de instrumentação mecânica e irrigação com seringa não é suficiente para alcançar uma desinfecção previsível, sobretudo em anatomias complexas.

Durante a instrumentação, forma-se a *smear layer*, composta por restos orgânicos, dentina e microrganismos compactados nas paredes do canal (Violich & Chandler, 2010). Este depósito atua como barreira física, dificultando a penetração dos irrigantes e reduzindo a adesão dos seladores endodônticos. A sua remoção com EDTA seguida de NaOCl é, portanto, essencial para potencializar a ação antimicrobiana e expor os túbulos dentinários (Calt & Serper, 2002; Haapasalo et al., 2014).

2.3 Necessidade de novas técnicas de irrigação

A conjugação da morfologia complexa, do biofilme resistente, do *smear layer* e das limitações hidrodinâmicas da irrigação convencional levou ao desenvolvimento de novas estratégias para melhorar o fluxo e a eficácia dos irrigantes. Técnicas como a ativação sônica (EndoActivator®, EDDY®), a irrigação ultrassônica passiva (PUI), a ativação laser (PIPS/Er:YAG) e os sistemas de pressão apical negativa (EndoVac®) foram desenvolvidas especificamente para superar as barreiras da irrigação manual (Gu et al., 2009; van der Sluis et al., 2007; DiVito et al., 2012; Nielsen & Baumgartner, 2007).

O princípio subjacente a todas estas técnicas é comum: aumentar a penetração, a renovação e a energia transmitida ao irrigante, para que este alcance zonas inacessíveis à instrumentação. A evolução tecnológica nesta área representa uma resposta direta às dificuldades impostas pela anatomia radicular complexa, tornando a irrigação o verdadeiro pilar da desinfecção endodôntica.

3 – Soluções irrigantes e propriedades desejáveis

A irrigação endodôntica desempenha um papel fundamental na eliminação de microrganismos, detritos e *smear layer* do sistema de canais radiculares. A escolha da solução irrigadora deve

considerar propriedades como atividade antimicrobiana, capacidade de dissolução tecidual, biocompatibilidade, lubrificação e segurança clínica (Haapasalo et al., 2014).

3.1 Hipoclorito de sódio (NaOCl)

O hipoclorito de sódio (NaOCl) é a solução irrigadora mais utilizada em endodontia e considerado o “*gold standard*” pela sua ação antimicrobiana de largo espectro e pela capacidade de dissolver tecido orgânico (Haapasalo et al., 2014; Dutner et al., 2012). A sua eficácia depende de fatores como a concentração, o volume utilizado e o tempo de contacto. Concentrações entre 0,5% e 6% têm sido recomendadas na literatura, sendo que concentrações mais elevadas (>5%) potenciam a atividade antimicrobiana e a dissolução de tecidos, mas aumentam também a citotoxicidade e o risco de danos em caso de extrusão apical (Hülsmann & Hahn, 2000).

O mecanismo de ação do NaOCl baseia-se na formação de ácido hipocloroso (HOCl) e ião hipoclorito (OCl⁻), dependendo do pH da solução. O HOCl é responsável pela ação antimicrobiana, promovendo oxidação de grupos sulfidrilo e inibição enzimática bacteriana, enquanto o OCl⁻ contribui sobretudo para a dissolução de matéria orgânica e degradação proteica (Haapasalo et al., 2014). Esta capacidade de dissolução distingue o NaOCl de outros irrigantes como a clorhexidina, que não possui essa propriedade.

Apesar das suas vantagens, o NaOCl apresenta algumas limitações: instabilidade química com perda de cloro ativo ao longo do tempo, odor e sabor desagradáveis e risco de acidentes em caso de extrusão apical, que podem causar dor aguda, edema e necrose tecidual (Hülsmann & Hahn, 2000). Diversas estratégias foram propostas para otimizar a sua ação, incluindo o uso de grandes volumes, a irrigação aquecida e a ativação mecânica (Sirtes et al., 2005; van der Sluis et al., 2007). O aquecimento da solução, em particular, aumenta significativamente a taxa de dissolução tecidual e potencia a sua ação antimicrobiana sem necessidade de aumentar a concentração, reduzindo o risco de citotoxicidade (Sirtes et al., 2005).

Assim, o NaOCl permanece a base da irrigação endodôntica contemporânea, devendo ser utilizado de forma controlada e associado a outras soluções, como o EDTA, para atingir um efeito desinfetante e desmineralizante complementar.

3.2 Ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA)

O ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA), habitualmente utilizado numa concentração de 17%, é um agente quelante com elevada afinidade para iões cálcio. A sua principal função em endodontia é remover a fração inorgânica da *smear layer*, expondo os túbulos dentinários e, assim, melhorando a penetração e adesão dos seladores endodônticos (Violich & Chandler, 2010).

Do ponto de vista químico, o EDTA atua por complexação dos iões cálcio presentes na hidroxiapatite da dentina, promovendo a sua solubilização. Este processo permite a remoção da camada mineralizada e expõe a rede colagénica subjacente. No entanto, o efeito do EDTA não é seletivo: contactos prolongados (>10 minutos) podem levar a uma desmineralização excessiva da dentina peritubular e intertubular, reduzindo a dureza e a resistência mecânica da raiz (Calt & Serper, 2002).

Embora não possua ação antimicrobiana significativa por si só, o EDTA tem um papel indireto na desinfeção: ao remover a *smear layer* e desobstruir os túbulos dentinários, permite uma melhor penetração de agentes antimicrobianos como o hipoclorito de sódio e os seladores, aumentando a eficácia da desinfeção do sistema de canais (Violich & Chandler, 2010; Zehnder, 2006). Estudos *in vitro* confirmam que a sequência NaOCl → EDTA → NaOCl promove a exposição máxima dos túbulos dentinários e aumenta a atividade antimicrobiana global (Torabinejad et al., 2003; Piazza et al., 2022).

Além disso, investigações recentes sugerem que o EDTA pode afetar a integridade dos biofilmes bacterianos de forma indireta, enfraquecendo a matriz extracelular ao quelar cálcio e magnésio — iões essenciais para a estabilidade da estrutura do biofilme —, o que facilita a penetração do NaOCl subsequente (Zehnder, 2006; Haapasalo et al., 2014).

Clinicamente, o EDTA deve ser utilizado como irrigante final, por 1–3 minutos, após a instrumentação mecânica e o uso de NaOCl, garantindo a remoção da *smear layer* antes da obturação. Este protocolo, amplamente suportado pela literatura, equilibra eficácia na limpeza com preservação estrutural da dentina (Torabinejad et al., 2003; Violich & Chandler, 2010).

3.3 Clorexidina (CHX)

A CHX, normalmente a 2%, tem forte atividade antimicrobiana e efeito residual devido à sua **substantividade**, permanecendo adsorvida na dentina e continuando a exercer ação antibacteriana após a irrigação (Rosenthal et al., 2004). Contudo, não dissolve tecidos orgânicos e a sua associação com NaOCl resulta na formação de um precipitado castanho (paracloranilina), considerado potencialmente citotóxico e responsável por manchas dentárias (Basrani et al., 2007). Assim, se usada, deve ser aplicada apenas após enxaguamento final com soro fisiológico ou álcool.

3.4 Soluções adicionais e novos irrigantes

Nos últimos anos, têm sido estudados irrigantes alternativos, como o **MTAD** (mistura de tetraciclina, ácido cítrico e detergente), o **QMix** (EDTA + CHX + tensoativo) e o **Tetraclean**. Estes agentes apresentam ação antimicrobiana e capacidade de remover *smear layer*, mas a evidência clínica ainda é limitada e não demonstram clara superioridade em relação aos irrigantes tradicionais (Haapasalo et al., 2014; Boutsoukis & Arias-Moliz, 2022).

3.5 Protocolo de irrigação recomendado

Nenhum irrigante isolado consegue atingir todos os objetivos desejáveis da irrigação endodôntica, nomeadamente dissolução tecidual, desinfecção eficaz e remoção da *smear layer*. Por isso, a literatura recomenda a combinação estratégica de irrigantes, sendo o protocolo mais estudado o uso sequencial de NaOCl e EDTA (Zehnder, 2006; Torabinejad et al., 2003; Haapasalo et al., 2014).

- **NaOCl** durante toda a instrumentação, pela sua ação antimicrobiana e de dissolução.
- **EDTA** como irrigante final, para remoção da *smear layer* inorgânica.
- **CHX** em casos selecionados, pela sua substantividade, mas nunca em contacto direto com NaOCl (Gu et al., 2009).

4- Técnicas e métodos de irrigação

4.1 Método de entrega vs. métodos de ativação do irrigante

É importante distinguir entre o método de entrega do irrigante e os métodos de ativação. A irrigação com seringa e agulha constitui o meio mais comum e universal de entrega da solução irrigadora no interior do canal radicular. Trata-se de uma técnica simples, de baixo custo e indispensável em qualquer protocolo endodôntico, permitindo introduzir volumes adequados de irrigante ao longo do canal (Haapasalo et al., 2014; Boutsoukis et al., 2022). Uma alternativa a este método é a irrigação por pressão apical negativa (PAN).

Contudo, a irrigação com seringa e agulha, quando utilizada de forma isolada, apresenta limitações importantes: o fluxo gerado é restrito às proximidades da ponta da agulha, deixando áreas do terço apical sem irrigação eficaz (Boutsoukis et al., 2009). Por essa razão, surgiram as chamadas técnicas de ativação, cujo objetivo é potenciar a ação do irrigante já introduzido no canal, melhorando a sua circulação, penetração e capacidade de desorganizar biofilmes. Entre estas incluem-se a ativação manual dinâmica, a sónica, a ultrassónica passiva (PUI), o laser (PIPS/Er:YAG).

Assim, enquanto a seringa e agulha representam o método de entrega, todas as outras técnicas são classificadas como métodos de ativação. É importante salientar que a irrigação manual não é incompatível com as técnicas de ativação: pelo contrário, é através da seringa e agulha que o irrigante é inicialmente introduzido, podendo depois ser ativado por qualquer uma das técnicas referidas (Haapasalo et al., 2014).

Deste modo, a irrigação com seringa e agulha deve ser entendida como a base sobre a qual se constroem os protocolos modernos de irrigação endodôntica, podendo ser utilizada isoladamente em casos simples ou, idealmente, em associação com técnicas de ativação para maximizar a eficácia clínica.

4.2 Irrigação com seringa/agulha

A irrigação com seringa e agulha é a técnica tradicional e ainda hoje a mais amplamente utilizada em endodontia, sobretudo pela sua simplicidade, baixo custo e aplicabilidade universal (Haapasalo et al., 2014; Boutsoukis et al., 2022). Normalmente utilizam-se agulhas

de calibre reduzido (30–31G), introduzidas a 1–3 mm aquém do comprimento de trabalho, consoante sejam de saída lateral ou de ponta aberta, as de saída lateral reduzem a pressão do irrigante quando comparadas com as de ponta aberta (Boutsioukis et al., 2010). Apesar de indispensável em qualquer protocolo de irrigação, a literatura é consensual em afirmar que, de forma isolada, esta técnica apresenta limitações na capacidade de desinfecção completa (Siqueira & Rôças, 2008).

4.2.1 Hidrodinâmica e alcance do irrigante

Estudos de dinâmica de fluidos computacional (CFD) demonstraram que o fluxo gerado pela irrigação com seringa/agulha é altamente localizado junto à ponta da agulha (Boutsioukis et al., 2009). A inserção mais profunda da agulha melhora a renovação do irrigante, mas aumenta também a pressão apical (Boutsioukis et al., 2010). O tamanho e a conicidade apical condicionam a circulação: preparos maiores que 35/.06 permitem, de um modo geral, uma maior circulação e volume de irrigante, havendo estudos que dizem que o volume do irrigante pode ser mais importante que o tipo de técnica de entrega ou de ativação usada (de Gregorio et al., 2013).

O fenómeno de *vapor lock*, caracterizado pelo aprisionamento de bolhas de ar no terço apical, tem sido descrito como um fator que limita a circulação do irrigante em sistemas “fechados” (Tay et al., 2010). No entanto, evidência mais recente sugere que o *vapor lock* poderá ser antes uma consequência da limitada penetração do irrigante, e não a sua causa primária (Boutsioukis et al., 2014). De facto, o problema pode ser minimizado através da renovação frequente do irrigante e do recurso a técnicas de ativação, que favorecem a desorganização das bolhas e melhoram a irrigação no terço apical. Assim, embora relevante, o *vapor lock* não deve ser visto como uma limitação inevitável da irrigação com seringa/agulha, mas antes como um desafio técnico que pode ser parcialmente ultrapassado.

4.2.2 Design da agulha: ponta aberta vs. saída lateral

O design da agulha tem impacto direto na eficácia e segurança da irrigação endodôntica. Todas as agulhas criam um jato de irrigante, mas a direção, intensidade e padrão de fluxo variam consoante o tipo de ponta (Boutsioukis et al., 2010; Ordinola-Zapata et al., 2021).

As agulhas de ponta aberta (*flat, bevelled, notched*) produzem um jato intenso dirigido apicalmente, capaz de alcançar zonas mais distais do canal. Este jato, contudo, tende a fragmentar-se e a gerar refluxo coronário, além de estar associado a pressões apicais elevadas, aumentando o risco de extrusão do irrigante (Boutsioukis et al., 2010).

Por outro lado, as agulhas de ponta fechada, com saída lateral (*side-vented, double-side-vented*), originam um jato direcionado lateralmente, que gera vórtices e promove maior circulação local do irrigante. Este design reduz a pressão apical, aumentando a segurança clínica. No entanto, a penetração do irrigante no terço apical é mais limitada, uma vez que a maior parte do fluxo se dissipa lateralmente e em direção coronária (Ordinola-Zapata et al., 2021).

A profundidade de inserção constitui outro fator determinante. Estudos de dinâmica de fluidos computacional demonstram que agulhas de saída lateral requerem posicionamento a 1–2 mm do comprimento de trabalho para assegurar substituição adequada do irrigante. Já as agulhas de ponta aberta permitem irrigação eficaz mesmo quando posicionadas a 2–3 mm aquém do WL, desde que o preparo apical seja maior que 35/.06 (de Gregorio et al., 2013; Boutsioukis et al., 2010; Boutsioukis et al 2009).

Em síntese, a escolha do design, calibre e profundidade de inserção da agulha deve ser guiada por critérios de segurança e eficácia, ajustando-se à anatomia radicular de cada caso para maximizar a irrigação e minimizar riscos de extrusão.

Foi feito um resumo na tabela 1 das características dos diferentes tipos de agulhas.

Tabela 1– Tipos de agulhas de irrigação, padrões de fluxo e implicações clínicas

Tipo de agulha	Padrão de fluxo / jato	Profundidade e recomendada	Vantagens	Limitações / Riscos	Referências
Ponta aberta (<i>open-end</i>) (<i>flat</i> , <i>bevelled</i> , <i>notched</i>)	Jato apical intenso, direcionado além da ponta; refluxo coronário significativo	2–3 mm aquém do WL,	Maior penetração apical; substituição eficaz do irrigante	Maior pressão apical; risco de extrusão	Boutsioukis et al., 2010; de Gregorio et al., 2013
Saída lateral (ponta fechada com saída lateral única)	Jato lateral divergente, com vórtices locais e menor intensidade apical	1–2 mm aquém do WL	Pressão apical reduzida; maior segurança	Menor penetração apical; requer maior proximidade ao WL	Boutsioukis et al., 2009; Ordinola-Zapata et al., 2021

4.2.3 Segurança e extrusão

Os acidentes de extrusão de NaOCl estão bem documentados, causando dor aguda, edema e necrose tecidual (Hülsmann & Hahn, 2000). Para reduzir o risco de extrusão mantendo eficácia, recomenda-se usar agulhas 30G de saída lateral, sem bloqueio contra as paredes, tipicamente 1–2 mm aquém do WL; agulhas de ponta aberta devem manter-se 2–3 mm aquém do WL. A profundidade deve ser ajustada à anatomia, com injeção lenta e renovação frequente do irrigante (Boutsioukis et al., 2010; Park et al., 2013;). A literatura reforça ainda a importância da irrigação contínua, mas controlada, evitando pressões excessivas que possam forçar o irrigante para além do forame apical (Park et al., 2013).

4.2.4 Eficácia microbiológica

Do ponto de vista microbiológico, a irrigação manual com seringa e agulha é insuficiente para eliminar biofilmes maduros. Esta limitação não se deve apenas à ação química do NaOCl, mas sobretudo à forma restrita como o irrigante circula no interior do canal. Estudos de dinâmica de fluidos demonstraram que o fluxo gerado por este método é altamente localizado junto à ponta da agulha, com substituição efetiva do irrigante apenas até 1–1,5 mm além da extremidade, deixando extensas zonas do terço apical sem contacto com a solução (Boutsioukis et al., 2009). Mesmo quando o irrigante alcança o biofilme, a sua matriz extracelular densa limita a penetração completa, reduzindo a eficácia antimicrobiana do NaOCl (Siqueira &

Rôças, 2008). Em contexto clínico, Vera et al. (2012) confirmaram a persistência de microrganismos após irrigação manual em dentes com periodontite apical, reforçando que esta técnica, isoladamente, não garante desinfecção previsível.

4.2.5 Estratégias de otimização

Algumas estratégias melhoram a eficácia da irrigação com seringa e agulha:

Utilização de maiores volumes de irrigante, que aumentam a capacidade de dissolução tecidual e antimicrobiana e renovação frequente das soluções durante a instrumentação (de Gregorio et al., 2013).

Combinação de irrigantes, como NaOCl e EDTA, para maximizar a dissolução orgânica e a remoção da *smear layer* (Boutsioukis et al 2022).

Pré-aquecimento de NaOCl, que aumenta a atividade antimicrobiana e a velocidade de dissolução de tecidos (Sirtes et al., 2005).

4.2.6 Limitações e implicações clínicas

Mesmo em protocolos otimizados, a irrigação com seringa e agulha continua limitada na remoção de *smear layer* e detritos, sobretudo no terço apical (Sen et al., 1995; Violich & Chandler, 2010). Por isso, a literatura recomenda a sua associação a técnicas de ativação, como a sônica, a PUI ou o laser, de forma a aumentar a penetração e eficácia antimicrobiana (Gu et al., 2009; Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022).

4.3 Irrigação com pressão apical negativa (PAN)

A irrigação por pressão apical negativa (PAN), exemplificada pelo sistema EndoVac®, foi desenvolvida para ultrapassar as limitações da irrigação convencional com seringa/agulha, sobretudo no terço apical. O sistema funciona através da aspiração do irrigante a partir do ápice, utilizando macro e microcânulas conectadas a sucção, o que promove a renovação contínua da solução irrigadora no comprimento de trabalho e reduz o risco de extrusão (Nielsen & Baumgartner, 2007; Desai & Himel, 2009).

4.3.1 Mecanismo de ação

A PAN coloca o irrigante na câmara pulpar e utiliza microcânulas para aspirar a solução até ao WL, criando um fluxo de irrigação dirigido de coronal para apical sob pressão negativa. Esta dinâmica permite maior substituição de irrigante no terço apical, minimizando as pressões apicais positivas responsáveis pela extrusão (Mitchell et al., 2010).

4.3.2 Eficácia na limpeza e desinfecção

Atualmente não existe evidência forte sobre este método em relação à irrigação convencional no que se refere à limpeza e desinfecção do sistema de canais (Boutsioukis, C. et al., 2007; Brunson, M. et al., 2010; Chen, J.E et al., 2014)

4.3.4 Segurança clínica

A principal vantagem da PAN é o seu perfil de segurança: ao aspirar o irrigante em vez de o injetar sob pressão, o risco de extrusão apical é substancialmente reduzido (Desai & Himel, 2009; Romualdo et al., 2017). Casos de acidentes com NaOCl são raramente reportados quando se utiliza PAN, reforçando a sua aplicabilidade em situações de maior fragilidade apical.

4.3.5 Protocolos de utilização

A técnica envolve irrigação inicial com macrocânula para remover detritos coronais, seguida do uso de microcânula posicionada a 0–1 mm do WL para aspiração do irrigante. Protocolos híbridos com NaOCl–EDTA–NaOCl em ciclos de 20–30 segundos mostraram resultados superiores em termos de limpeza e exposição de túbulos dentinários (Plazza et al., 2022).

4.3.6 Vantagens

Maior segurança devido à redução do risco de extrusão (Desai & Himel, 2009; Romualdo et al., 2017).

Curva de aprendizagem curta.

4.3.7 Limitações

Custo do kit em comparação com a seringa convencional.

Evidência clínica ainda menos robusta do que a existente para técnicas mais estudadas, como a PUI (Nair, R. M et al., 2022).

4.3.8 Síntese crítica

A PAN é um sistema de irrigação baseado em pressão apical negativa que proporciona segurança superior quando comparada com a irrigação convencional com seringa/agulha. Embora a evidência seja maioritariamente laboratorial, os resultados sustentam o seu uso em situações clínicas de maior risco de extrusão e em casos em que se pretende maximizar a irrigação apical. (Psimma, Z. & Boutsoukis, C., 2019)

4.4 Ativação Manual Dinâmica (AMD)

A ativação manual dinâmica (AMD) consiste na agitação do irrigante dentro do canal radicular através do movimento repetido de um cone de guta-percha bem-adaptado à preparação apical. Esta técnica foi proposta como uma forma simples e de baixo custo de aumentar a penetração e circulação do irrigante, sem necessidade de dispositivos eletrônicos ou energia externa (Ruddle, 2008; Rödigg et al., 2010).

4.4.1 – Mecanismo de ação

O princípio da AMD baseia-se no movimento de pistão realizado pelo cone de guta-percha, que gera fluxos de irrigante e promove a sua renovação em direção ao terço apical. Estudos experimentais mostraram que o movimento alternado do cone cria turbulência suficiente para deslocar bolhas aprisionadas (*vapor lock*) e melhorar a substituição do irrigante (Yu, X., et al., 2012; Ruddle, 2008). Embora não atinja os níveis de transmissão acústica da PUI, consegue aumentar significativamente a irrigação ativa no interior do canal (Machtou, P. 2015).

4.4.2 – Protocolos clínicos

Na utilização da técnica MDA (Manual Dynamic Agitation), deve ser selecionado um cone mestre de guta-percha cujo conicidade seja ligeiramente inferior à conicidade do canal, de modo a garantir um ajuste preciso ao nível do comprimento de trabalho. Em seguida, corta-se 1 mm na extremidade do cone para permitir um recuo (*tug-back*) 1 mm aquém do forame apical. Após a aspiração do irrigante primário (NaOCl), o canal é preenchido com 1 ml de EDTA administrado através de uma agulha de níquel-titânio de calibre 30 (podendo ser

utilizada a ponta Navy da Ultradent, a Stropko NiTi Flexi-Tips da SybronEndo ou a CanalPro Flex-Tips da Coltene/Whaledent).

A agitação manual do cone inicia-se então com um movimento de vaivém vertical, com uma amplitude de 2 mm e uma frequência de aproximadamente 100 movimentos por minuto, durante cerca de 1 minuto. Seguidamente, é administrado mais 1 ml de EDTA através da agulha de irrigação, destinado à remoção de detritos, sendo este posteriormente aspirado para eliminar qualquer resíduo do agente quelante. Por fim, o canal é irrigado com 1 ml de NaOCl, repetindo-se o mesmo protocolo de agitação, desta vez com 50 movimentos em 30 segundos. A irrigação é finalizada com a utilização de 3 ml de NaOCl.

4.4.3 – Eficácia na limpeza e desinfecção

A literatura indica que a AMD apresenta resultados superiores quando comparada com o uso único da irrigação convencional com seringa na remoção de detritos e *smear layer*, sobretudo no terço apical (Rödig et al., 2010; Susin et al., 2010). Yu, X., et al. (2012) demonstraram que a AMD consegue também reduzir o *vapor lock* em sistemas fechados, permitindo maior penetração do irrigante. No entanto, a sua eficácia antimicrobiana ainda é considerada limitada quando comparada com métodos baseados em energia ultrassónica ou laser (Plotino et al., 2016).

4.4.4 – Vantagens

Técnica simples, sem necessidade de equipamentos adicionais.

Baixo custo e fácil implementação clínica (Ruddle, 2008).

Pode ser utilizada em qualquer consultório e em associação com protocolos irrigadores convencionais.

Melhora a circulação do irrigante no terço apical em comparação com o uso único da irrigação convencional com seringa.

4.4.5 – Limitações

Apesar dos benefícios, a AMD não gera fenómenos significativos de cavitação nem transmissão acústica, o que limita a sua capacidade de desorganizar biofilmes maduros (Plotino

et al., 2016). Além disso, o movimento repetido do cone, quando este não é bem selecionado, pode apresentar riscos de extravasamento de hipoclorito (Rödig et al., 2010).

4.4.6 – Síntese crítica

A ativação manual dinâmica representa uma estratégia útil, simples e de baixo custo para potenciar a irrigação endodôntica, particularmente em contextos clínicos com limitações de recursos. Embora não atinja a eficácia de técnicas mais avançadas, como a PUI ou o laser, apresenta evidência favorável na redução do *vapor lock* e na melhoria da renovação do irrigante em zonas apicais. O seu uso pode ser recomendado como alternativa em situações em que métodos de ativação baseados em energia não estão disponíveis (Ruddle, 2008; Rödig et al., 2010).

4.5 Ativação sónica

A ativação sónica foi desenvolvida para melhorar os resultados da irrigação convencional, aumentando a agitação e a renovação da solução no interior do canal (Gu et al., 2009). Opera em frequências baixas (20-20000 Hz), mas com maior amplitude de oscilação do que a PUI, produzindo microturbulência e movimento do irrigante, o que favorece a penetração em áreas difíceis, como istmos e canais laterais (Plotino et al., 2016). Embora não provoque cavitação intensa, como a PUI, permite maior circulação do irrigante em comparação à irrigação manual (Ruddle, 2008).

4.5.1 Dispositivos mais comuns

Os sistemas mais conhecidos incluem o EndoActivator® e o EDDY®, ambos com pontas poliméricas flexíveis que reduzem o risco de contacto agressivo com a dentina. Estes dispositivos devem ser utilizados após o preparo químico-mecânico, com a ponta posicionada 2–3 mm aquém do comprimento de trabalho (van der Sluis et al., 2007). O EDDY®, em particular, demonstrou desempenho equivalente ou superior à irrigação ultrassónica em canais curvos, graças à flexibilidade e elevada amplitude de vibração (Chu, X. et al., 2023).

4.5.2 Protocolos clínicos

A ativação deve ser realizada em ciclos de 20–30 segundos, repetidos 2–3 vezes, com renovação frequente do irrigante entre ciclos. O uso sequencial de NaOCl durante a instrumentação e EDTA no final da preparação mecânica tem demonstrado melhores resultados (Plotino et al., 2016). Estudos *in vitro* confirmam que a eficácia aumenta quando se utilizam volumes generosos de irrigante e ciclos repetidos (de Gregorio et al., 2013).

4.5.3 Vantagens

A literatura mostra que a ativação sónica supera a irrigação com seringa na remoção de *smear layer* e na substituição do irrigante no terço apical (Gu et al., 2009; van der Sluis et al., 2007). É uma técnica considerada segura, com curva de aprendizagem simples, custo moderado e aplicabilidade em clínicas gerais (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022). Além disso, o risco de extrusão é menor em relação à irrigação manual, já que não há injeção sob pressão (Gu et al., 2009).

4.5.4 Limitações

Apesar de eficaz, a sua capacidade de desorganizar biofilmes maduros é inferior à da PUI (van der Sluis et al., 2007; Mozo et al., 2012). Em canais muito estreitos ou curvos, a amplitude de vibração pode ser reduzida, limitando a eficácia (Chu, X. et al., 2023). Além disso, a evidência clínica ainda é menos robusta do que para a PUI, sendo a maioria dos estudos laboratoriais.

4.5.5 Síntese crítica

A ativação sónica representa uma opção clínica viável quando não estão disponíveis técnicas mais avançadas, funcionando como complemento entre a irrigação manual e a PUI (Plotino et al., 2016). Apesar das suas limitações, constitui uma solução prática, segura e economicamente acessível, justificando o seu uso em contexto clínico quotidiano.

4.6 Irrigação ultrassónica passiva (PUI)

A irrigação ultrassónica passiva (PUI) é amplamente considerada uma das técnicas mais eficazes de ativação do irrigante em endodontia (van der Sluis et al., 2007; Mozo et al., 2012; Moreira, R. N. et al., 2019). Utiliza-se uma lima sem capacidade de corte (ou ponta específica)

vibrando a alta frequência (~25–40 kHz) para criar transmissão acústica e cavitação limitada, fenômenos que aumentam a agitação do irrigante, promovem maior penetração nos túbulos dentinários e melhoram substancialmente a remoção de resíduos e *smear layer* (van der Sluis et al., 2007).

4.6.1 Mecanismo de ação e eficácia de limpeza

Diversos estudos confirmam que a PUI remove eficientemente detritos e *smear layer*, sobretudo no terço apical e nos istmos, superando a irrigação manual e, em muitos casos, também a ativação sônica (Mozo et al., 2012). Dispositivos como o Irrisafe® potenciam os fenômenos hidrodinâmicos característicos da técnica, nomeadamente a transmissão acústica e a cavitação estável.

O mecanismo de ação da PUI baseia-se na transmissão de vibrações ultrassônicas a altas frequências (25–40 kHz) através de uma lima ou ponta não cortante. Esta vibração gera microcorrentes turbulentas (transmissão acústica) que promovem a circulação e renovação contínua do irrigante ao longo do canal radicular. Paralelamente, ocorre cavitação estável, ou seja, a formação e oscilação de microbolhas no irrigante, que aumentam a sua capacidade de desorganizar biofilmes e remover resíduos aderidos às paredes canaliculares (van der Sluis et al., 2007; Ahmad et al., 2009). Estes efeitos físicos complementam a ação química do NaOCl, aumentando a sua penetração e eficácia antimicrobiana.

Meta-análises recentes mostram que a PUI promove uma redução microbiana significativa e melhores taxas de cicatrização periapical comparativamente à irrigação convencional (Moreira, R. N. et al., 2019). Em protocolos *in vitro*, a PUI demonstrou eficácia na remoção de detritos e exposição de túbulos dentinários, especialmente em protocolos sequenciais como NaOCl–EDTA–NaOCl (Plazza et al., 2022).

Estudos clínicos sugerem que a PUI contribui para maior taxa de sucesso endodôntico a médio prazo, embora ainda sejam limitados em número e qualidade metodológica (Moreira, R. N. et al., 2019).

4.6.2 Protocolos de ativação

Os protocolos mais utilizados combinam ciclos de 20–30 segundos de ativação, repetidos 2–3 vezes, com renovação do irrigante entre ciclos (Mozo et al., 2012). Protocolos híbridos, como

NaOCl–EDTA–NaOCl, mostraram desempenho superior aos ciclos homogêneos (Plazza et al., 2022). A eficácia depende também da quantidade de irrigante presente na câmara e da manutenção da ponta em vibração livre, sem contacto contínuo com as paredes dentinárias.

4.6.3 Vantagens da técnica

Evidência de superioridade em relação à irrigação manual e sónica (Mozo et al., 2012; Moreira, R. N. et al., 2019).

Capacidade comprovada de desorganizar biofilmes em anatomias complexas (van der Sluis et al., 2007; Mozo et al., 2012).

Compatibilidade com unidades de ultrassons já disponíveis em consultórios, tornando a técnica acessível.

A técnica apresenta uma curva de aprendizagem relativamente curta, favorecendo a sua adoção clínica (Mozo et al., 2012; Boutsoukis & Arias-Moliz, 2022).

4.6.4 Limitações e precauções

A eficácia da PUI depende de uma preparação adequada do canal, permitindo a vibração livre da ponta; em canais estreitos ou pouco alargados, o efeito é limitado (Haapasalo et al., 2014). O contacto constante da lima com a parede reduz a transmissão da energia e compromete o resultado (Mozo et al., 2012). Para além da diminuição da eficácia, este contacto pode provocar desgaste indesejado da dentina e a formação de irregularidades ou microcavidades nas paredes canulares, que em alguns casos podem funcionar como áreas de retenção de detritos ou mesmo enfraquecer a estrutura radicular (Ahmad et al., 2009; van der Sluis et al., 2007).

O estudo de Turkey et al. (2025) levantou preocupações adicionais ao mostrar que a PUI pode reduzir a força de adesão de alguns sistemas adesivos à dentina da câmara pulpar, o que poderá exigir precauções na etapa restauradora.

Além disso, a literatura destaca a falta de padronização em termos de protocolos (tempo de ativação, concentração e sequência dos irrigantes), o que dificulta a comparação direta entre estudos e limita a extrapolação clínica (Plazza et al., 2022).

4.6.5 Contexto clínico e recomendações

A PUI deve ser considerada como uma técnica de ativação a utilizar sempre que disponível, dado que combina evidência de eficácia na remoção de *smear layer*, detritos e biofilmes, com custos moderados e aplicabilidade clínica elevada (van der Sluis et al., 2007; Mozo et al., 2012; Moreira, R. N. et al., 2019; Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022). O protocolo mais recomendado inclui: irrigação inicial com NaOCl, seguida de ciclos de PUI com renovações frequentes de irrigante — idealmente em combinação sequencial com EDTA. O uso de limas sem capacidade de corte como as Irrisafe® em canais devidamente preparados reduz riscos e maximiza a eficácia.

4.7 Irrigação ativada por laser

O uso de lasers em endodontia surgiu como uma estratégia para ultrapassar as limitações da irrigação convencional com seringa. Os lasers mais estudados incluem o Nd:YAG, Er:YAG e Er,Cr:YSGG. Entre estes, o Er:YAG em modo PIPS (*Photon-Induced Photoacoustic Streaming*) tem recebido particular atenção por permitir ativação do irrigante sem necessidade de inserção da fibra no interior do canal (DiVito et al., 2012).

4.7.1 Mecanismo de ação

O PIPS utiliza pulsos de laser de baixa energia aplicados na câmara pulpar, produzindo ondas de choque fotoacústicas que se propagam ao longo do sistema canal (DiVito et al., 2012). Estas ondas geram *microstreaming* e cavitação secundária, permitindo que o irrigante atinja istmos, canais laterais e ramificações complexas (Arslan et al., 2014). A vantagem é que não há necessidade de inserir a ponta no canal, reduzindo o risco de extrusão apical. A energia laser cria microexplosões e ondas fotoacústicas capazes de gerar intensa movimentação do irrigante, favorecendo a desorganização de biofilmes e a remoção de *smear layer* em áreas de difícil acesso (Plotino et al., 2016).

4.7.2 Eficácia na remoção de *smear layer* e biofilme

Estudos laboratoriais demonstraram que o laser em modo PIPS remove *smear layer* e detritos de forma mais eficaz do que a irrigação com seringa e comparável ou superior à PUI em

determinadas condições (DiVito et al., 2012; Arslan et al., 2014). Revisões apontam que o laser pode alcançar áreas inacessíveis à PUI, tornando-o promissor sobretudo em anatomias complexas (Plotino et al., 2016).

Contudo, revisões sistemáticas recentes alertam para a heterogeneidade da evidência: enquanto estudos *in vitro* relatam benefícios claros, ensaios clínicos não confirmaram de forma consistente a superioridade do laser em termos de cicatrização periapical ou redução bacteriana (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022).

4.7.3 Vantagens

Ativação eficaz do irrigante sem inserção intracanal, reduzindo risco de extrusão (DiVito et al., 2012).

Atinge zonas complexas e ramificações anatômicas inacessíveis a outras técnicas (Plotino et al., 2016).

Potencialmente maior eficácia na remoção de biofilmes resistentes (Arslan et al., 2014).

4.7.4 Limitações

Evidência clínica limitada: a maioria dos estudos é laboratorial, e os ensaios clínicos disponíveis não confirmam vantagens consistentes sobre a PUI (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022).

Custo elevado do equipamento, que limita a sua utilização em clínicas gerais.

Curva de aprendizagem acentuada, exigindo formação especializada.

Risco potencial de danos térmicos se os protocolos de segurança não forem cumpridos.

4.7.5 Síntese crítica

A irrigação ativada por laser representa um avanço tecnológico relevante, com grande potencial em anatomias complexas e casos de difícil desinfecção. No entanto, devido ao custo elevado, necessidade de formação específica e falta de evidência clínica robusta, o seu uso deve ser considerado complementar e não substituto das técnicas já estabelecidas, como a PUI. A

literatura atual sugere que o laser pode ser reservado a contextos de investigação ou a centros especializados, até que estudos clínicos de maior qualidade confirmem a sua efetiva superioridade (Plotino et al., 2016; Boutsoukis & Arias-Moliz, 2022).

5 - Comparação entre as técnicas de ativação do irrigante

A irrigação com seringa e agulha constitui o método tradicional e universal de entrega do irrigante no interior do sistema de canais radiculares, sendo utilizada em praticamente todos os protocolos endodônticos pela sua simplicidade e baixo custo (Haapasalo et al., 2014; Boutsoukis et al., 2010). No entanto, importa salientar que esta técnica não corresponde, em sentido estrito, a um método de ativação do irrigante, mas sim a uma forma de o introduzir no canal. A eficácia da irrigação manual depende do calibre e desenho da agulha, da profundidade de inserção e do volume irrigante utilizado, mas não promove fenómenos adicionais de agitação, cavitação ou streaming, que são os mecanismos responsáveis pela maior capacidade de limpeza e desinfeção observada em técnicas ativadas (Gu et al., 2009; van der Sluis et al., 2007).

Por este motivo, a irrigação com seringa/agulha não foi incluída nas comparações do capítulo de técnicas de ativação. De facto, métodos como a ativação manual dinâmica (AMD), a ativação sónica, a irrigação ultrassónica passiva (PUI), o laser (PIPS/Er:YAG) e o sistema EndoVac® foram desenvolvidos especificamente para potenciar a ação química dos irrigantes através de mecanismos físicos de agitação ou de renovação contínua (Plotino et al., 2016; Boutsoukis & Arias-Moliz, 2022).

Ainda assim, a irrigação manual mantém um papel essencial, funcionando como a etapa inicial de entrega do irrigante e podendo ser combinada com qualquer uma das técnicas de ativação. Nesse sentido, a seringa/agulha deve ser entendida como a base do protocolo de irrigação, enquanto as técnicas ativadas são ferramentas complementares que ampliam a eficácia do irrigante, sobretudo em regiões de difícil acesso como o terço apical, istmos e canais laterais.

5.1 AMD vs. Sónica

5.1.1 Remoção de *smear layer* e detritos

A ativação ultrassónica passiva (PUI) e a ativação sónica demonstram, de forma consistente em diversos estudos, alcançar resultados superiores quando comparadas com a irrigação convencional realizada apenas com seringa e agulha. Estes métodos de ativação potenciam a penetração da solução irrigante e favorecem uma maior remoção de detritos e de *smear layer*, aspetos essenciais para o sucesso do tratamento endodôntico. No entanto, importa salientar que, apesar destes achados, ainda não existe evidência científica absolutamente conclusiva ou incontestável que permita afirmar a clara superioridade de uma destas técnicas em relação à outra. (Susin et al., 2010, Deleu, E 2015, Lei-Meng Jiang et al, 2012; Kanter V. et al, 2011; Rödíg, T. et al 2010, Passalidou, S et al, 2018).

5.1.2 Eficácia antimicrobiana

Em relação à erradicação de microorganismos no interior do sistema de canais, há escassa evidência sobre a AMD, quer isoladamente, quer comparativamente à ativação sónica. Esta última também apresenta resultados pouco conclusivos sobre a eficácia antimicrobiana quando comparada com a utilização única da irrigação convencional com seringa/agulha. Alguns autores encontraram uma superioridade desta eficácia com a ativação sónica (Townsend, C. 2009 Pasqualini D, 2010), enquanto outros não encontraram diferenças significativas (Brito, P. 2009; Huffaker SK, 2010).

5.1.3 Síntese crítica

A literatura sugere que tanto a ativação ultrassónica passiva (PUI) como a sónica apresentam melhor desempenho do que a irrigação convencional na remoção de *smear layer* e detritos, embora não exista evidência conclusiva que permita afirmar a superioridade de uma sobre a outra. No que respeita à eficácia antimicrobiana, os resultados são ainda mais contraditórios: alguns estudos apontam vantagens para a ativação sónica, enquanto outros não identificam diferenças significativas face à irrigação convencional. Globalmente, os dados atuais indicam benefícios potenciais dos métodos de ativação, mas não confirmam de forma inequívoca a sua superioridade clínica.

5.2 AMD vs. PUI

5.2.1 Remoção de *smear layer* e detritos

Estudos comparativos confirmam que a ativação ultrassônica passiva (PUI) apresenta uma eficácia superior na remoção de detritos e de *smear layer* quando comparada com a ativação manual dinâmica (AMD), sobretudo no terço apical e em zonas anatomicamente complexas, como os istmos. Esta vantagem é atribuída ao movimento oscilatório de elevada frequência que promove uma agitação mais intensa do irrigante, aumentando o seu fluxo e permitindo uma maior penetração em áreas de difícil acesso, potenciando assim a ação química das soluções irrigadoras (Jiang et al, 2012; Saber, S.el-D 2011; Jiang et al, 2011)

5.2.2 Eficácia antimicrobiana

Numa meta-análise, a PUI não demonstrou reduções bacterianas significativas quando comparado às obtidas com irrigação sem ativação (e, por extensão, comparáveis às técnicas de agitação de baixa energia como a AMD), com reflexo em desfechos clínicos sem muita diferença (Moreira, R. N. et al., 2019).

5.2.3 Síntese crítica

Embora as atuais evidências sugiram que a PUI é inquestionavelmente mais eficaz do que a irrigação convencional com seringa/agulha na eliminação de detritos em istmos e canais laterais e áreas não instrumentadas, faltam evidências que mostrem o efeito antibacteriano da PUI nessas áreas, bem como a melhoria da taxa de sucesso em estudos clínicos (Liang et al., 2013; Căpută et al., 2019).

5.3 AMD vs. Laser (PIPS/Er:YAG)

5.3.1 Remoção de *smear layer* e detritos

Estudos *in vitro* com laser reportaram remoção superior de *smear layer* comparada à irrigação convencional/sem ativação, avaliando superfícies por SEM após protocolos standard (NaOCl/EDTA). DiVito, Peters & Olivi (2012) mostraram, em raízes humanas instrumentadas, que o Er:YAG com pontas radiais/stripped removeu mais *smear layer* do que a irrigação não ativada, com melhor exposição tubular. Arslan et al. (2014) testaram PIPS, e observaram uma

redução significativa de detritos e *smear layer* vs métodos sem energia; em várias zonas apicais PIPS foi claramente superior à irrigação com seringa. Revisões narrativas confirmam tendência consistente para melhor limpeza apical com laser face a técnicas não energizadas (Plotino et al., 2016).

5.3.2 Eficácia antimicrobiana

Estudos laboratoriais demonstraram uma maior eficácia da técnica com laser quando comparado com irrigação não ativada na remoção de biofilme (Lloyd, A et al 2014)

5.3.3 Síntese crítica

Os estudos *in vitro* confirmam que o laser é superior à irrigação com AMD na remoção de *smear layer* e biofilmes. Contudo, em contexto clínico real, a sua superioridade ainda não é inequívoca (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022). Assim, o laser deve ser considerado uma técnica complementar, com vantagens específicas, mas sem evidência suficiente para complementar a irrigação com seringa/agulha em prática clínica generalista.

5.4 Sónica vs. PUI

5.4.1 Remoção de *smear layer* e detritos

Revisões confirmam que, em protocolos com ciclos de 20–30 s e renovação do irrigante, a PUI tende a superar a sónica na exposição tubular e remoção de resíduos aderidos (Mozo et al., 2012; Plotino et al., 2016). O EDDY® (polímero vibrante) aproximou a sónica da PUI em canais curvos, sob condições específicas de preparo e posicionamento (Chu, X. et al., 2023), mas essa equivalência não é sistemática noutras anatomias.

5.4.2 Eficácia antimicrobiana

Do ponto de vista microbiológico, a PUI demonstra maior capacidade em alguns estudos de desorganizar biofilmes maduros e reduzir a carga bacteriana do que a irrigação sónica em ambientes *in vitro* (Mozo et al., 2012) mas noutros os resultados já não são tão conclusivos (Moreira, R. N. et al., 2019). No entanto, dispositivos de alta frequência sónica, como o EDDY®, mostraram resultados próximos da PUI em determinados protocolos, sobretudo quando utilizados em ciclos repetidos e com irrigante renovado (Plotino et al., 2016; Chu, X.

et al., 2023). Ensaios laboratoriais com *E. faecalis* e biofilmes polimicrobianos tendem a mostrar redução bacteriana superior com PUI vs sónica, mantendo os mesmos irrigantes (Mozo et al., 2012). Em termos clínicos, o ensaio clínico randomizado de Liang et al. (2013), em dentes monoradiculares, comparou irrigação com e sem ativação ultrassónica, documentando cicatrização periapical radiográfica comparável quando se usou ou não ultrassons. A evidência específica de sónica em RCTs permanece mais limitada (Gu et al., 2009; Plotino et al., 2016).

5.4.3 Síntese crítica

A PUI é, em média, tão eficaz como a irrigação sónica, particularmente na remoção de *smear layer* apical e na eliminação de biofilmes complexos. PUI sobrepõe-se em alguns estudos à sónica em limpeza apical/istmos (SEM) e redução microbiana *in vitro*, no entanto, com apoio clínico (Liang et al., 2013) conseguimos verificar que os resultados são comparáveis.

5.5 Sónica vs. Laser (PIPS)

5.5.1 Remoção de *smear layer* e detritos

Estudos laboratoriais mostraram que o PIPS alcança resultados superiores à irrigação sónica na remoção de *smear layer*, incluindo áreas de difícil acesso (Arslan et al., 2014). DiVito, Peters & Olivi (2012) avaliaram raízes humanas instrumentadas e mostraram que o Er:YAG com pontas radiais/stripped resultou em maior remoção de *smear layer* e melhor exposição tubular vs irrigação não ativada. Arslan et al. (2014), com PIPS, reportaram pontuações SEM apicais favoráveis ao laser face a métodos sem energia e, em várias condições, superiores à sónica. Revisões (Plotino et al., 2016) apontam tendência consistente do laser para limpeza apical superior *in vitro*.

5.5.2 Eficácia antimicrobiana

Em estudos *in vitro*, o PIPS demonstrou maior capacidade de desorganizar biofilmes e reduzir microrganismos resistentes, enquanto a sónica, apesar de eficaz, apresenta menor penetração e agitação apical (Arslan et al., 2014). No entanto, a evidência clínica ainda não confirma de forma consistente a igualdade do laser sobre a sónica em desfechos de cicatrização periapical (Plotino et al., 2016). Em *in vitro*, PIPS/Er:YAG mostrou reduções de CFU mais acentuadas do que a sónica, mantendo NaOCl/EDTA idênticos (Arslan et al., 2014). A literatura clínica

controlada que compare diretamente laser e sónica em desfechos clínicos duros é escassa; as revisões destacam heterogeneidade de protocolos e falta de padronização (Plotino et al., 2016).

5.5.3 Síntese crítica

O laser tende a apresentar superioridade em eficácia *in vitro* quando comparado com a irrigação sónica, sobretudo na remoção de *smear layer* e na eliminação de biofilmes. Contudo, em contexto clínico real, a diferença entre as duas técnicas é menos expressiva, sendo a irrigação sónica mais acessível, prática e suficientemente eficaz para a maioria dos casos (Plotino et al., 2016; Boutsoukis & Arias-Moliz, 2022).

Em laboratório, Laser > Sónica (SEM/CFU), sobretudo no apical; na clínica, faltam RCTs robustos que provem superioridade inequívoca do laser. Custos/treino podem limitar adoção (DiVito et al., 2012; Arslan et al., 2014; Plotino et al., 2016).

5.6 PUI vs. Laser (PIPS)

5.6.1 Remoção de *smear layer* e detritos

A irrigação ultrassónica passiva (PUI) é reconhecida pela sua eficácia na remoção de detritos e *smear layer*, sobretudo no terço apical. Ensaios histológicos demonstraram que o PUI elimina significativamente mais restos pulpaes do que a irrigação manual (Gutarts et al., 2005; Burleson et al., 2007). A revisão sistemática de Căpută et al. (2019) reforça que a ativação ultrassónica não apresenta evidências que mostrem o efeito antibacteriano da PUI nessas áreas

Por outro lado, a ativação a laser, nomeadamente com o protocolo PIPS, promove cavitação fotoacústica, aumentando a dispersão e penetração do irrigante em zonas laterais e istmos (Peters et al., 2011). Estudos laboratoriais indicam que, em determinadas condições, o laser pode superar a PUI na remoção de *smear layer*, sobretudo em regiões de anatomia complexa (Arslan et al., 2014). Contudo, a eficácia do laser é fortemente dependente do protocolo (energia, tipo de fibra, tempo de ativação), o que gera resultados menos homogéneos entre investigações (Plotino et al., 2016).

5.6.2 Eficácia antimicrobiana

Do ponto de vista microbiológico, o PUI apresenta alguma base de evidência. Ensaios laboratoriais mostram reduções bacterianas significativas em biofilmes maduros, ainda que a revisão de Căpută et al. (2019) tenha identificado variação nos resultados consoante os métodos usados para avaliação (CFU, CLSM, tempo de maturação dos biofilmes). Ensaios clínicos, como o de Liang et al. (2013), confirmaram a igualdade de resultados da ativação ultrassônica em termos de cicatrização radiográfica periapical, sugerindo uma igual eficácia antimicrobiana *in vivo*.

Os lasers, em especial o PIPS, também revelaram potencial antimicrobiano. Peters et al. (2011) e Arslan et al. (2014) demonstraram reduções bacterianas superiores às técnicas sem ativação, com alguns estudos reportando desempenho superior ao PUI. No entanto, a falta de padronização metodológica e a escassez de ensaios clínicos controlados limitam a extrapolação destes resultados para a prática clínica (Plotino et al., 2016).

5.6.3 Síntese crítica

Tanto o PUI como a ativação a laser representam avanços significativos em relação à irrigação convencional. A PUI beneficia de mais consolidação científica, protocolos relativamente padronizados, mantendo uma relação custo-benefício favorável, apesar de que clinicamente os seus resultados não mostrarem superioridade (Liang et al., 2013; Căpută et al., 2019).

O laser, embora promissor e com resultados laboratoriais que sugerem vantagens na limpeza e desinfecção em áreas complexas, continua limitado por custos elevados, necessidade de treino específico e evidência clínica ainda inconclusiva (Peters et al., 2011; Plotino et al., 2016).

Assim, a literatura atual não estabelece superioridade inequívoca de uma técnica sobre a outra. O PUI deve ser considerado a opção de eleição sempre que disponível pela sua previsibilidade e custo-efetividade, enquanto o laser poderá assumir um papel complementar em casos selecionados.

Foi feito um resumo dos estudos comparativos das diferentes técnicas abordadas na seguinte tabela.

Tabela 2 Comparação das Técnicas de Ativação do Irrigante *in vitro*

Comparação	Remoção de smear layer/detritos	Eficácia antimicrobiana	Segurança	Considerações clínicas
AMD vs. Sónica	Sónica superior à AMD, especialmente no apical	Sónica > AMD em redução de <i>E. faecalis</i>	Ambas seguras; sónica dependente da anatomia	Sónica preferida; AMD útil em contextos de baixo custo
AMD vs. PUI	PUI muito superior à AMD em apical e istmos	PUI > AMD, com melhor redução bacteriana e apoio clínico	Segura se usada corretamente	PUI é técnica de eleição; AMD apenas complementar
AMD vs. Laser (PIPS)	Laser > AMD em remoção de smear layer	Laser mais eficaz; AMD limitada	Laser reduz risco de extrusão, mas exige treino	Laser promissor; AMD prática mas menos eficaz
Sónica vs. PUI	PUI > Sónica em apical/istmos	PUI > Sónica em biofilmes	Ambas seguras; risco mínimo	PUI mais consistente; sónica acessível
Sónica vs. Laser (PIPS)	Laser > Sónica em smear layer	Laser > Sónica em CFU, mas evidência clínica fraca	Laser seguro; custos elevados	Sónica mais acessível; Laser promissor
PUI vs. Laser (PIPS)	Ambos eficazes; Laser pode superar em áreas complexas	PUI com alguma evidência clínica; Laser <i>in vitro</i> promissor	PUI risco baixo; Laser seguro mas caro	PUI técnica de eleição; Laser complementar

III. CONCLUSÃO

A irrigação endodôntica constitui um dos pilares centrais do tratamento do canal radicular, sendo indispensável para ultrapassar as limitações inerentes à instrumentação mecânica. A literatura é consensual em afirmar que o sucesso clínico depende da remoção eficaz de tecido orgânico, detritos, *smear layer* e biofilmes, bem como da redução da carga bacteriana a níveis compatíveis com a cicatrização periapical (Siqueira & Rôças, 2008; Haapasalo et al., 2014).

No panorama atual, nenhum método isolado reúne todas as propriedades ideais. Apesar da técnica ultrassônica parecer ser superior às restantes quando comparada em estudos *in vitro*, não existe uma evidência científica forte que nos diga que é superior em ambiente clínico às demais. A escolha da técnica deve, portanto, ser individualizada, considerando a complexidade anatômica, a condição clínica e os recursos disponíveis. Protocolos combinados de irrigantes (NaOCl e EDTA) e a associação de métodos de ativação parecem oferecer os melhores resultados, apoiados por evidência científica consistente (Haapasalo et al., 2014; Zehnder, 2006).

Assim, a irrigação endodôntica deve ser encarada como uma etapa dinâmica e adaptável do tratamento, onde a constante evolução tecnológica, aliada à investigação clínica, permitirá aproximar-se cada vez mais do objetivo ideal: a completa desinfecção do sistema de canais radiculares, garantindo maior previsibilidade e longevidade ao tratamento endodôntico.

IV. REFERÊNCIAS

- Ahmad, I. A. (2009). Rubber dam usage for endodontic treatment: A review. *International Endodontic Journal*, 42(10), 963-972. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01623.x>
- Ahmad, M., Pitt-Ford, T. R., & Crum, L. A. (1987). Ultrasonic debridement of root canals: An insight into the mechanisms involved. *Journal of Endodontics*, 13(3), 93-101. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(87\)80173-5](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(87)80173-5)
- Arias, A., Peters, O. A., & outros. (2022). Present status and future directions: Canal shaping. *International Endodontic Journal*, 55(6), 659-682. <https://doi.org/10.1111/iej.13698>
- Arslan, H., Capar, I. D., Saygili, G., Gok, T., & Akcay, M. (2014). Effect of photon-initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *International endodontic journal*, 47(11), 1072–1077. <https://doi.org/10.1111/iej.12251>
- Basrani, B. R., Manek, S., Sodhi, R. N. S., Fillery, E., & Manzur, A. (2007). Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *Journal of Endodontics*, 33(8), 966-969. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.04.001>
- Beus, C., Safavi, K., Stratton, J., & Kaufman, B. (2012). Comparison of the effect of two endodontic irrigation protocols on the elimination of bacteria from root canal system: a prospective, randomized clinical trial. *Journal of endodontics*, 38(11), 1479–1483. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.07.005>
- Brito, P. R., Souza, L. C., Machado de Oliveira, J. C., Alves, F. R., De-Deus, G., Lopes, H. P., & Siqueira, J. F., Jr (2009). Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations: an in vitro study. *Journal of endodontics*, 35(10), 1422–1427. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.07.001>
- Boutsioukis, C., & Arias-Moliz, M. T. (2022). Present status and future directions - irrigants and irrigation methods. *International endodontic journal*, 55 Suppl 3(Suppl 3), 588–612. <https://doi.org/10.1111/iej.13739>

- Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., & Kastrinakis, E. (2009). Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *International endodontic journal*, 42(2), 144–155. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01503.x>
- Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. R., & van der Sluis, L. W. (2010). The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of endodontics*, 36(10), 1664–1668. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.06.023>
- Boutsioukis, C., Kastrinakis, E., Lambrianidis, T., Verhaagen, B., Versluis, M., & van der Sluis, L. W. (2014). Formation and removal of apical vapor lock during syringe irrigation: a combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *International endodontic journal*, 47(2), 191–201. <https://doi.org/10.1111/iej.12133>
- Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., Kastrinakis, E., & Bekiaroglou, P. (2007). Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *International endodontic journal*, 40(7), 504–513. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01244.x>
- Brito, P. R., Souza, L. C., Machado de Oliveira, J. C., Alves, F. R., De-Deus, G., Lopes, H. P., & Siqueira, J. F., Jr (2009). Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations: an in vitro study. *Journal of endodontics*, 35(10), 1422–1427. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.07.001>
- Brunson, M., Heilborn, C., Johnson, D. J., & Cohenca, N. (2010). Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *Journal of endodontics*, 36(4), 721–724. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.11.028>
- Burleson, A., Nusstein, J., Reader, A., & Beck, M. (2007). The in vivo evaluation of hand/rotary/ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *Journal of endodontics*, 33(7), 782–787. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.04.015>
- Calt, S., & Serper, A. (2002). Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of Endodontics*, 28(1), 17–19. <https://doi.org/10.1097/00004770-200201000-00004>

- Căpută, P. E., Retsas, A., Kuijk, L., Chávez de Paz, L. E., & Boutsoukis, C. (2019). Ultrasonic Irrigant Activation during Root Canal Treatment: A Systematic Review. *Journal of endodontics*, 45(1), 31–44.e13. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.09.010>
- Castagnola, R., Lajolo, C., Minciocchi, I., Cretella, G., Foti, R., Marigo, L., Gambarini, G., Angerame, D., & Somma, F. (2014). Efficacy of three different irrigation techniques in the removal of smear layer and organic debris from root canal wall: A scanning electron microscope study. *Giornale Italiano di Endodonzia*, 28(2), 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.gien.2014.09.001>
- Chen, J. E., Nurbakhsh, B., Layton, G., Bussmann, M., & Kishen, A. (2014). Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations: a computational fluid dynamics analysis. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, 40(2), 54–60. <https://doi.org/10.1111/aej.12027>
- Chu, X., Feng, S., Zhou, W., Xu, S., & Zeng, X. (2023). Cleaning efficacy of EDDY versus ultrasonically-activated irrigation in root canals: a systematic review and meta-analysis. *BMC oral health*, 23(1), 155. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02875-6>
- de Gregorio, C., Arias, A., Navarrete, N., Del Rio, V., Oltra, E., & Cohenca, N. (2013). Effect of apical size and taper on volume of irrigant delivered at working length with apical negative pressure at different root curvatures. *Journal of endodontics*, 39(1), 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.10.008>
- Deleu, E., Meire, M.A. & De Moor, R.J. (2015) Efficacy of laser-based irrigant activation methods in removing debris from simulated root canal irregularities. *Lasers in Medical Science*, 30, 831– 835.
- Desai, P., & Himel, V. (2009). Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *Journal of Endodontics*, 35(4), 545–549. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.01.011>
- DiVito, E., Peters, O. A., & Olivi, G. (2012). Effectiveness of the erbium:YAG laser and new design radial and stripped tips in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Lasers in Medical Science*, 27(2), 273–280. <https://doi.org/10.1007/s10103-010-0858-x>

- Dutner, J., Mines, P., & Anderson, A. (2012). Irrigation trends among American Association of Endodontists members: a web-based survey. *Journal of endodontics*, 38(1), 37–40. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.08.013>
- European Society of Endodontology (2006). Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *International endodontic journal*, 39(12), 921–930. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01180.x>
- European Society of Endodontology (ESE) developed by:, Duncan, H. F., Galler, K. M., Tomson, P. L., Simon, S., El-Karim, I., Kundzina, R., Krastl, G., Dammaschke, T., Fransson, H., Markvart, M., Zehnder, M., & Bjørndal, L. (2019). European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *International endodontic journal*, 52(7), 923–934. <https://doi.org/10.1111/iej.13080>
- Faus-Llácer, V., Luna-Roa, M., Faus-Matoses, I., Ruiz-Sánchez, C., Zubizarreta-Macho, Á., Sauro, S., & Faus-Matoses, V. (2020). Comparative Analysis of the Smear Layer Removal Capability between EndoVac and Endoactivator Endodontic Irrigation Systems at the Root Canal System and Isthmus: A Micro-Computed Tomography Analysis. *Applied Sciences*, 10(20), 7033. <https://doi.org/10.3390/app10207033>
- Gillen, B. M., Looney, S. W., Gu, L. S., Loushine, B. A., Weller, R. N., Loushine, R. J., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2011). Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Endodontics*, 37(7), 895–902. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.04.002>
- Gorni, F. G., & Gagliani, M. M. (2004). The outcome of endodontic retreatment: A 2-yr follow-up. *Journal of Endodontics*, 30(1), 1–4. <https://doi.org/10.1097/00004770-200401000-00001>
- Gu, L. S., Kim, J. R., Ling, J., Choi, K. K., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2009). Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of Endodontics*, 35(6), 791–804. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.03.010>

- Gutarts, R., Nusstein, J., Reader, A., & Beck, M. (2005). In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of endodontics*, 31(3), 166–170. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000137651.01496.48>
- Haapasalo, M., Endal, U., Zandi, H. and Coil, J.M. (2005), Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic Topics*, 10: 77-102. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2005.00135.x>
- 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>
- Hülsmann, M., & Hahn, W. (2000). Complications during root canal irrigation—Literature review and case reports. *International Endodontic Journal*, 33(3), 186–193. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2000.00303.x>
- Huffaker, S. K., Safavi, K., Spangberg, L. S., & Kaufman, B. (2010). Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of bacteria from root canal systems: a clinical study. *Journal of endodontics*, 36(8), 1315–1318. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.04.024>
- Jiang, L. M., Verhaagen, B., Versluis, M., Langedijk, J., Wesselink, P., & van der Sluis, L. W. (2011). The influence of the ultrasonic intensity on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *Journal of endodontics*, 37(5), 688–692. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.02.004>
- Jiang, L. M., Lak, B., Eijsvogels, L. M., Wesselink, P., & van der Sluis, L. W. (2012). Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *Journal of endodontics*, 38(6), 838–841. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.03.002>
- Kanter, V., Weldon, E., Nair, U., Varella, C., Kanter, K., Anusavice, K., & Pileggi, R. (2011). A quantitative and qualitative analysis of ultrasonic versus sonic endodontic systems on canal cleanliness and obturation. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, 112(6), 809–813. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2011.06.002>

- Konstantinidi, E., Psimma, Z., Chávez de Paz, L. E., & Boutsoukis, C. (2017). Apical negative pressure irrigation versus syringe irrigation: a systematic review of cleaning and disinfection of the root canal system. *International endodontic journal*, *50*(11), 1034–1054. <https://doi.org/10.1111/iej.12725>
- León-López, M., Cabanillas-Balsera, D., Martín-González, J., Montero-Miralles, P., Saúco-Márquez, J. J., & Segura-Egea, J. J. (2022). Prevalence of root canal treatment worldwide: A systematic review and meta-analysis. *International endodontic journal*, *55*(11), 1105–1127. <https://doi.org/10.1111/iej.13822>
- Liang, Y. H., Jiang, L. M., Jiang, L., Chen, X. B., Liu, Y. Y., Tian, F. C., Bao, X. D., Gao, X. J., Versluis, M., Wu, M. K., & van der Sluis, L. (2013). Radiographic healing after a root canal treatment performed in single-rooted teeth with and without ultrasonic activation of the irrigant: a randomized controlled trial. *Journal of endodontics*, *39*(10), 1218–1225. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.06.024>
- Lloyd, A., Uhles, J. P., Clement, D. J., & Garcia-Godoy, F. (2014). Elimination of intracanal tissue and debris through a novel laser-activated system assessed using high-resolution micro-computed tomography: a pilot study. *Journal of endodontics*, *40*(4), 584–587. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.10.040>
- Machtou, P. (2015). Manual Dynamic Activation (MDA) Technique. In: Basrani, B. (eds) Endodontic Irrigation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16456-4_8
- Mitchell, R. P., Yang, S. E., & Baumgartner, J. C. (2010). Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics*, *36*(2), 338–341. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.10.003>
- Moreira, R. N., Pinto, E. B., Galo, R., Falci, S. G. M., & Mesquita, A. T. (2019). Passive ultrasonic irrigation in root canal: systematic review and meta-analysis. *Acta odontologica Scandinavica*, *77*(1), 55–60. <https://doi.org/10.1080/00016357.2018.1499960>
- Mozo, S., Llena, C., & Forner, L. (2012). Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Medicina oral, patologia oral y cirugía bucal*, *17*(3), e512–e516. <https://doi.org/10.4317/medoral.17621>

- Nair, R. M., Jayasree, S., Poornima, E. S., & Ashique, M. (2022). Comparative evaluation of antimicrobial efficacy on *Enterococcus faecalis* and smear layer removal in curved canals by different irrigation techniques: An *in vitro* study. *Journal of conservative dentistry : JCD*, 25(4), 409–414. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_224_22
- Ng, Y.-L., Mann, V., Rahbaran, S., Lewsey, J., & Gulabivala, K. (2007). Outcome of primary root canal treatment: Systematic review of the literature – Part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *International Endodontic Journal*, 40(12), 921–939. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01322.x>
- Ng, Y.-L., Mann, V., Rahbaran, S., Lewsey, J., & Gulabivala, K. (2008). Outcome of primary root canal treatment: Systematic review of the literature – Part 2. Influence of clinical factors. *International Endodontic Journal*, 41(1), 6–31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01323.x>
- Ng, Y.-L., Mann, V., Gulabivala, K. (2011). A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: Part 1. Periapical health. *International Endodontic Journal*, 44(7), 583–609. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01872.x>
- Nielsen, B. A., & Baumgartner, J. C. (2007). Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of Endodontics*, 33(5), 611–615. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.01.020>
- Ordinola-Zapata, R., Crepps, J. T., Arias, A., & Lin, F. (2021). *In vitro* apical pressure created by 2 irrigation needles and a multisonic system in mandibular molars. *Restorative dentistry & endodontics*, 46(1), e14. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e14>
- Park, E., Shen, Y., Khakpour, M., & Haapasalo, M. (2013). Apical pressure and extent of irrigant flow beyond the needle tip during positive-pressure irrigation in an *in vitro* root canal model. *Journal of endodontics*, 39(4), 511–515. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.12.004>
- Passalidou, S., Calberson, F., De Bruyne, M., De Moor, R., & Meire, M. A. (2018). Debris Removal from the Mesial Root Canal System of Mandibular Molars with Laser-activated Irrigation. *Journal of endodontics*, 44(11), 1697–1701. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.06.007>

- Pasqualini, D., Cuffini, A. M., Scotti, N., Mandras, N., Scalas, D., Pera, F., & Berutti, E. (2010). Comparative evaluation of the antimicrobial efficacy of a 5% sodium hypochlorite subsonic-activated solution. *Journal of endodontics*, 36(8), 1358–1360. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.03.035>
- Peters, O. A. (2004). Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: A review. *Journal of Endodontics*, 30(8), 559–567. <https://doi.org/10.1097/01.DON.0000129039.59003.9D>
- Peters, O. A., Bardsley, S., Fong, J., Pandher, G., & Divito, E. (2011). Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *Journal of Endodontics*, 37(7), 1008–1012. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.03.016>
- Plazza, F. A., Dal-Fabbro, R., Cosme-Silva, L., Duarte, P. C. T., Loureiro, C., Custódio, V. Z., Cintra, L. T. A., Duarte, M. A. H., & Gomes-Filho, J. E. (2023). Effectiveness of Passive Ultrasonic Irrigation Protocols in Simulated Complex Root Canal Cavities. *Oral*, 3(1), 1-10. <https://doi.org/10.3390/oral3010001>
- Plotino, G., Cortese, T., Grande, N. M., Leonardi, D. P., Di Giorgio, G., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2016). New Technologies to Improve Root Canal Disinfection. *Brazilian dental journal*, 27(1), 3–8. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600726>
- Plotino, G., Nagendrababu, V., Bukiet, F., Grande, N. M., Veetil, S. K., De-Deus, G., & Aly Ahmed, H. M. (2020). Influence of Negotiation, Glide Path, and Preflaring Procedures on Root Canal Shaping-Terminology, Basic Concepts, and a Systematic Review. *Journal of endodontics*, 46(6), 707–729. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.01.023>
- Psimma, Z., & Boutsoukis, C. (2019). A critical view on sodium hypochlorite accidents. *ENDO : Endodontic Practice Today*, 13(2), 165-175.
- Ricucci, D., & Siqueira, J. F. (2010). Biofilms and apical periodontitis: Study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *Journal of Endodontics*, 36(8), 1277–1288. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.04.007>

- Rödig, T., Bozkurt, M., Konietschke, F., & Hülsmann, M. (2010). Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *Journal of endodontics*, 36(8), 1410–1413. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.04.023>
- Romualdo, P. C., de Oliveira, K. M. H., Nemezio, M. A., Silva, E. J. N. L., de-Deus, G., & Alcalde, M. P. (2017). Apical negative pressure irrigation versus conventional irrigation: A systematic review. *Journal of Endodontics*, 43(11), 1881–1887. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.06.021>
- Rosenthal, S., Spångberg, L., & Safavi, K. (2004). Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, 98(4), 488–492. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2003.07.005>
- Ruddle, C.J. (2015). Endodontic disinfection: Tsunami irrigation. *Saudi Endodontic Journal*, 5, 1 - 12.
- Saber, S.el-D., & Hashem, A. A. (2011). Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *Journal of endodontics*, 37(9), 1272–1275. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.06.007>
- Savani, G. M., Sabbah, W., Sedgley, C. M., & Whitten, B. (2014). Current trends in endodontic treatment by general dental practitioners: report of a United States national survey. *Journal of endodontics*, 40(5), 618–624. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.01.029>
- Schilder, H. (2006). Filling root canals in three dimensions (original work published 1967). *Journal of Endodontics*, 32(4), 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.02.007>
- Sen, 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>
- Shemesh, H., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2006). Leakage along apical root fillings with and without smear layer using two different leakage models: a two-month longitudinal ex vivo study. *International endodontic journal*, 39(12), 968–976. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01181.x>

- Shen, Y., Stojicic, S., Qian, W., Olsen, I., & Haapasalo, M. (2010). The synergistic antimicrobial effect by mechanical agitation and two chlorhexidine preparations on biofilm bacteria. *Journal of endodontics*, 36(1), 100–104. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.018>
- Siqueira, J. F., & Rôças, I. N. (2008). Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *Journal of Endodontics*, 34(11), 1291–1301.e3. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.07.028>
- Sirtes, G., Waltimo, T., Schäfer, E., & Zehnder, M. (2005). The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *Journal of Endodontics*, 31(9), 669–671. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000153846.62144.d2>
- Simon, S., Machtou, P., Adams, N., Tomson, P., & Lumley, P. (2009). Apical limit and working length in endodontics. *Dental update*, 36(3), 146–153. <https://doi.org/10.12968/denu.2009.36.3.146>
- Suman, S., Verma, P., Prakash-Tikku, A., Bains, R., & Kumar-Shakya, V. (2017). A Comparative Evaluation of Smear Layer Removal Using Apical Negative Pressure (EndoVac), Sonic Irrigation (EndoActivator) and Er:YAG laser -An *In vitro* SEM Study. *Journal of clinical and experimental dentistry*, 9(8), e981–e987. <https://doi.org/10.4317/jced.53881>
- Susin, L., Liu, Y., Yoon, J. C., Parente, J. M., Loushine, R. J., Ricucci, D., Bryan, T., Weller, R. N., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2010). Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. *International endodontic journal*, 43(12), 1077–1090. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2010.01778.x>
- Tay, F. R., Gu, L. S., Schoeffel, G. J., Wimmer, C., Susin, L., Zhang, K., Arun, S. N., Kim, J., Looney, S. W., & Pashley, D. H. (2010). Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *Journal of endodontics*, 36(4), 745–750. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.11.022>

- Townsend, C., & Maki, J. (2009). An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *Journal of endodontics*, 35(7), 1040–1043. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.04.007>
- Torabinejad, M., Khademi, A. A., Babagoli, J., Cho, Y., Johnson, W. B., Bozhilov, K., Kim, J., & Shabahang, S. (2003). A new solution for the removal of the smear layer. *Journal of Endodontics*, 29(3), 170–175. <https://doi.org/10.1097/00004770-200303000-00002>
- Turky, M., Matinlinna, J., Lukomska-Szymanska, M., Nagendrababu, V., Dummer, P. M. H., Elheeny, A. A. H., & Mahmoud, N. A. (2025). The impact of passive ultrasonic irrigation on the bond strength of two different self-etch adhesives to human pulp chamber dentine: a laboratory investigation. *BMC oral health*, 25(1), 550. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05858-x>
- van der Sluis, L. W. M., Versluis, M., Wu, M. K., & Wesselink, P. R. (2007). Passive ultrasonic irrigation of the root canal: Literature review. *International Endodontic Journal*, 40(6), 415–426. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01243.x>
- Vera, J., Siqueira, J. F., Jr, Ricucci, D., Loghin, S., Fernández, N., Flores, B., & Cruz, A. G. (2012). One- versus two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a histobacteriologic study. *Journal of endodontics*, 38(8), 1040–1052. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.04.010>
- Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 58(5), 589–599. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(84\)90085-9](https://doi.org/10.1016/0030-4220(84)90085-9)
- 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>
- Wu, M. K., Wesselink, P. R., & Walton, R. E. (2000). Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, 89(1), 99–103. [https://doi.org/10.1016/s1079-2104\(00\)80023-2](https://doi.org/10.1016/s1079-2104(00)80023-2)

Yu, X., Guo, B., Li, KZ. *et al.* Cone-beam computed tomography study of root and canal morphology of mandibular premolars in a western Chinese population. *BMC Med Imaging* **12**, 18 (2012). <https://doi.org/10.1186/1471-2342-12-18>

Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, *32*(5), 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.014>