



CATÓLICA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA

VISEU

EXTRUSÃO APICAL DO IRRIGANTE USANDO DIFERENTES TIPOS DE AGULHA DE IRRIGAÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Por:

Guilhermina Muquê Gama

Viseu, 2025



CATOLICA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA

VISEU

EXTRUSÃO APICAL DO IRRIGANTE USANDO DIFERENTES TIPOS DE AGULHA DE IRRIGAÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Por:

Guilhermina Muquê Gama

Orientador: Professora Doutora Rita Noites

Coorientador: Professor Doutor Miguel Cardoso

Viseu, 2025

Epígrafe

*Mas os que confiam no Senhor renovam suas forças;
voam alto, como águias.
Correm e não se cansam,
caminham e não
desfalecem.*

Isaías 40:30-31

Membros do Júri das Provas Públicas

Presidente: Tiago Marques

(Professor Doutor, Universidade Católica Portuguesa - Viseu)

Arguente: Sara Paixão

(Professora Doutora, Universidade Católica Portuguesa - Viseu)

Orientador: Rita Noites

(Professora Doutora, Universidade Católica Portuguesa - Viseu)

Co-Orientador: Miguel Cardoso

(Professor Doutor, Universidade Católica Portuguesa - Viseu)

Data das provas públicas: 07 / 07 / 2025

Classificação: 16 Valores

Dedicatórias

Dedico este trabalho final às pessoas mais importantes da minha vida, pelo apoio incondicional e incessante, pelo que sou.

Manuel e Ana Maria

Agradecimentos

Este pequeno espaço, mas de enorme importância para mim, é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que esta Tese fosse realizada. A todos eles deixo aqui o meu agradecimento muito, muito sincero.

À minha orientadora, Professora Doutora Rita Noites, pelo apoio e orientação disponibilizados na realização deste trabalho, conselhos e sugestões, além das palavras de ânimo que imprimia sempre que achava necessário, permitindo que contribuísse para o meu desenvolvimento pessoal.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Miguel Cardoso, pelo igual apoio e orientação na realização deste trabalho e pela paciência na execução dos CBCT's.

Aos meus pais, que sempre me transmitiram os melhores valores, a força, coragem e, principalmente, nunca desistir do que queremos, a alegria de viver, fazer sempre tudo o melhor possível e me deram a confiança necessária para realizar os meus sonhos. Os meus primeiros pacientes.

Aos meus irmãos, os melhores amigos que poderia ter, que me apoiaram e me acompanharam ao longo desta árdua e custosa caminhada, tanto física, como telefonicamente, ao longo dos 200.000km percorridos durante estes cinco anos.

À minha sogra, amiga, que foi a minha paciente mais especial.

E, por último, mas não menos importante, a todos os meus colegas que, direta ou indiretamente, estiveram comigo ao longo destes cinco anos. Aos meus binómios Lia, Catarina, Beatriz e Djouhaina pela partilha de conhecimento e cooperação em todos os momentos. À Tetyana, Doina e Diana que, sem dúvida, ficarão para a vida, pois foram uma base e tornaram esta caminhada mais leve.

Resumo

Introdução

O tratamento endodôntico (TE) pode definir-se como um procedimento comum, usado pelos profissionais da Medicina Dentária, com o objetivo de tratar infecções da polpa radicular do dente. O sucesso deste tipo de tratamento está diretamente relacionado com o controlo da infeção e, para isso, realizam-se os processos de limpeza e de desinfecção do canal radicular (CR), com o auxílio de instrumentos e soluções irrigadoras. A irrigação representa um passo crucial na endodontia para a desinfecção de bactérias e remoção da camada de detritos com o máximo de segurança, evitando a extrusão apical. Várias estratégias de irrigação foram propostas, embora os seus efeitos na extrusão apical do irrigante sejam controversos.

Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de agulhas de irrigação endodôntica na extrusão apical do irrigante, fazendo uma comparação entre três sistemas de irrigação diferentes.

Materiais e Métodos

Foram usados trinta dentes em 3D de molares mandibulares, em resina (n=10/grupo), formulados com hidrogel para simulação de tecido e biofilme artificial e inseridos num cubo do mesmo material, onde conseguimos visualizar a extrusão apical do irrigante. Eles, foram divididos em três tipos distintos de agulhas: (A), (B) e (C). Seguidamente, as imagens pré e pós-irrigação geradas através da CBCT, foram comparadas e avaliadas quantitativamente através do volume e da área nos planos coronal, sagital e axial, que representava a presença ou ausência de extrusão apical.

Resultados/Discussão

Os resultados foram diferentes de grupo para grupo, consoante as características de cada agulha.

Este estudo indica que o tipo de agulha afeta significativamente a extrusão apical do irrigante, na irrigação endodôntica.

Conclusão

A associação de dois sistemas de irrigação – sistema pressurizado (convencional ou positivo), de agulha de ponta fechada IrriFlex, de polietileno flexível, com dupla ventilação lateral e sistema de irrigação de pressão negativa EndoVac – mostrou ser o mais eficaz na segurança da extrusão apical do irrigante.

Palavras-chave: Endodontia, Agulhas, Extrusão Apical, Irrigante, CBCT

Abstract

Intruduction

Endodontic treatment (ET) can be defined as a common procedure used by dental professionals with the aim of treating infections of the tooth's root pulp. The success of this type of treatment is directly related to infection control, which involves cleaning and disinfecting the root canal (RC) using instruments and irrigating solutions. Irrigation represents a crucial step in endodontics for disinfecting bacteria and removing the smear layer with maximum safety, while avoiding apical extrusion. Several irrigation strategies have been proposed, although their effects on apical extrusion of the irrigant remain controversial.

The goal of this study is to evaluate the effectiveness of endodontic irrigation needles in the apical extrusion of the irrigant by comparing three different irrigation systems.

Materials and Methods

Thirty 3D-printed mandibular molar teeth made of resin (n=10 per group) were used, formulated with hydrogel to simulate tissue and artificial biofilm and embedded in a cube made of the same material, allowing for visualization of irrigant apical extrusion. The samples were divided into three distinct needle types: (A), (B), and (C). Pre and post irrigation images obtained via CBCT were compared and quantitatively evaluated based on volume and area in the coronal, sagittal, and axial planes, which indicated the presence or absence of apical extrusion.

Results/Discussion

The results varied between groups depending on the characteristics of each needle. This study indicates that the type of needle significantly affects the apical extrusion of the irrigant during endodontic irrigation.

Conclusion

The combination of two irrigation systems – a pressurized system (conventional or positive), using the closed-end IrriFlex needle made of flexible polyethylene with dual lateral vents, and the negative pressure irrigation system EndoVac – proved to be the most effective in ensuring the safety of apical irrigant extrusion.

Keywords: Endodontics, Needles, Apical Extrusion, Irrigant, CBCT

I.	INTRODUÇÃO.....	1
1.	Contextualização da Endodontia e Irrigação Endodôntica	1
1.1	Tipos de Irrigantes mais utilizados e a Importância da Irrigação no Tratamento Endodôntico	2
2.	Extrusão Apical do Irrigante.	3
2.1.	Definição e Mecanismos de Extrusão Apical.....	3
2.2.	Fatores que Influenciam a Extrusão Apical do Irrigante	4
2.3.	Relação entre Tipo de Agulha e Quantidade de Extrusão do Irrigante.....	5
2.4.	Impacto Clínico da Extrusão Apical: Riscos, Complicações e Terapêutica ...	6
3.	Agulhas de Irrigação	7
3.1.	Tipos de Agulhas de Irrigação	7
3.2.	Design de equipamentos de irrigação e Comparação de Eficiência entre os Tipos de Agulhas.....	7
II.	MATERIAIS E MÉTODOS	11
1.	Seleção e preparação dos dentes.....	11
2.	Métodos de irrigação dos canais radiculares	12
3.	Simulação de tecidos com modelo de hidrogel – réplicas 3D em resina	13
4.	Grupos experimentais.....	14
5.	Deteção de extrusão apical do irrigante.....	15
6.	Procedimentos de análise dos dados	18
III.	RESULTADOS	19
IV.	DISCUSSÃO.....	27
V.	CONCLUSÕES.....	36
VI.	BIBLIOGRAFIA.....	39

Índice de Figuras

Figura 1. Réplicas 3D em resina. Fonte: Dente Surpreendente 3D, Vila Nova de Gaia, Porto, Portugal.....	13
Figura 2. CBCT - PLANMECA ProMax® 3D Mid.....	16
Figura 3. Posicionamento do dente 3D na sua face vestibular.....	16
Figura 4. Linha inicial a 1mm abaixo do volume extruído	16
Figura 5. Free Region Glow Too	17
Figura 6. Contornos da área segmentada ao longo de toda a extrusão	17
Figura 7. "Create Region"	18
Figura 8. Volume da extrusão apical	18
Figura 9. CBCT Inicial	19
Figura 10. CBCT Final.....	19
Figura 11. CBCT em 3D	19

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Diagramas de extremos quartis das distribuições do volume	22
Gráfico 2. Diagramas de extremos quartis das distribuições da área coronal	23
Gráfico 3. Diagramas de extremos quartis das distribuições da área sagital	23
Gráfico 4. Diagramas de extremos quartis das distribuições da área axial	24
Gráfico 5. Diagramas de extremos quartis das distribuições da área média	25

Índice de Tabelas

Tabela 1. Caracterização dos resultados da extrusão apical do irrigante, por agulha e canal.....	20
Tabela 2. Relação entre tipos de agulhas de acordo com canal	25
Tabela 3. Relação entre canais de acordo com tipos de agulhas	26

Lista de Abreviaturas e Símbolos

CBCT – Tomografia Computorizada de Feixe Cónico

CFD – Dinâmica de Fluidos Computacional

CHX – Clorohexidina

CT – Comprimento de Trabalho

D –Distal

FOV – Campo de visão

LAP – Lima Apical de Permeabilização

ml – Mililitros

mm – Milímetros

MTAD – Mistura de Tetraciclina, Ácido e Detergente

MV/ML – Mesio-Vestibular e Canal Mesio-Lingual

NaOCl – Hipoclorito de Sódio

NiTi – Níquel-Titânio

PNA – Pressão Negativa Apical

PUI – Irrigação Ultrassónica Passiva

RPM – Rotações por Minuto

SPSS® – Programa Informático Statistical Package for the Social Sciences

I.INTRODUÇÃO

1. Contextualização da Endodontia e Irrigação Endodôntica

Os microrganismos são os principais agentes etiológicos das patologias pulpares e periapicais. Embora fatores químicos e físicos possam induzir patologia pulpar ou periapical, os microrganismos presentes no sistema de canais radiculares representam uma fonte de agressão persistente com a capacidade de induzir e perpetuar alterações teciduais (1).

A polpa infetada e necrótica oferece um habitat seletivo para os microrganismos (2).

A infecção estabelece-se no canal radicular após a polpa se tornar necrótica, como resultado de cárie, traumatismo, doença periodontal ou iatrogénica, ou quando a polpa está ausente devido a tratamento endodôntico prévio (1).

A infecção endodôntica primária é causada por microrganismos que inicialmente invadem e colonizam a polpa necrótica, que se caracteriza por uma infecção polimicrobiana dominada por bactérias anaeróbias. Em contrapartida, a infecção persistente é causada por microrganismos presentes numa infecção primária ou secundária e que, de alguma forma, resistiram aos procedimentos antimicrobianos intracanais e suportaram períodos de privação de nutrientes nos canais tratados (3,4).

Os microrganismos anaeróbios *Gram-positivos* e facultativos são as espécies mais frequentemente encontradas nos casos de insucesso endodôntico e em redor da área periapical. Entre eles, o *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) é o mais prevalente. É uma espécie do género *Enterococo* e um coco *gram-positivo* anaeróbio facultativo. Desde 1960 que é estudada a relação entre o *E. faecalis* com infecções endodônticas, utilizando técnicas de cultura microbiológica (5).

O objetivo do tratamento endodôntico radical não cirúrgico (inicial e retratamento) consiste na remoção desses irritantes do sistema de canais radiculares e consequente preenchimento tridimensional do sistema de canais radiculares (6). Isto significa, que

o tratamento deve impedir que os microrganismos infetem ou reinfetem o espaço pulpar ou os tecidos perirradiculares, erradicar, ou pelo menos controlar, uma infecção já existente no canal radicular (1,7).

A preparação químico-mecânica tem como objetivo remover os microrganismos, o tecido pulpar e os restos de dentina do sistema de canais radiculares. O hipoclorito de sódio (NaOCl), em concentrações de 0,5 a 5,25%, é o irrigante mais utilizado devido à sua atividade antimicrobiana e capacidade de dissolução dos tecidos (8).

1.1 Tipos de Irrigantes mais utilizados e a Importância da Irrigação no Tratamento Endodôntico

Durante a preparação mecânica é produzida uma camada de *smear layer* que cobre a superfície do canal radicular. Essa camada abriga microrganismos, infecta os túbulos dentinários, impede a penetração ou difusão de irrigantes antibacterianos e medicamentos nos túbulos dentinários e compromete o selamento entre os materiais de obturação e a parede dentinária. Devido à sua potencial contaminação e efeitos adversos no resultado do tratamento, a remoção da *smear layer* é recomendada (9).

A irrigação dos canais radiculares com soluções antibacterianas é uma parte essencial da preparação químico-mecânica, realizando possivelmente a maior parte da limpeza e desinfecção. A remoção completa dos detritos é essencial para permitir o contacto direto da solução irrigante com os túbulos dentinários para auxiliar a desinfecção (8,10).

Os irrigantes mais utilizados são o hipoclorito de sódio (NaOCl) e a clorhexidina (CHX), ou o uso combinado de ambos. Os seus benefícios, tais como a boa capacidade de desinfecção, foram demonstrados em diversas investigações (11–15).

Atualmente, o hipoclorito de sódio é amplamente considerado como o irrigante de eleição principalmente devido à sua capacidade única de dissolução de tecidos e fortes efeitos antimicrobianos, especialmente contra biofilmes (10).

Apesar da sua excelente atividade antimicrobiana e substantividade, a CHX não deve ser defendida como um solução de irrigação padrão porque é menos eficaz em

bactérias *Gram-negativas* do que em bactérias *Gram-positivas* e é incapaz de dissolver restos de tecido pulpar. Contudo, pode ser muito útil como coadjuvante na desinfecção (16).

Mais recentemente surge o BioPure MTAD. O BioPure, (Dentsply, Tulsa Dental, Tulsa, OK, EUA), também conhecido como MTAD, é um quelante para remoção da *smear layer* utilizado no protocolo final de irrigação de canais radiculares. Esta solução é uma mistura de 3% de doxiciclina, 4,25% de ácido cítrico e um detergente (0,5% Polissorbato). O MTAD demonstrou ser clinicamente biocompatível com potencial substância antibacteriana capaz de remover a *smear layer* e é eficaz sobre o *E. faecalis* (9,16).

Apesar dos recentes avanços na endodontia, o controlo da infeção continua a ser um desafio significativo que prejudica o pleno sucesso dos tratamentos endodônticos, a cura da periodontite apical existente, bem como a prevenção da recorrência (4,17).

Alguns fatores que podem influenciar o resultado do tratamento endodôntico dependem de variáveis intraoperatórias, como a técnica de irrigação, o tamanho da preparação apical, o uso de medicação intracanal ou o número de consultas necessárias para completar o tratamento.

Ao longo dos anos, têm sido sugeridos vários métodos para melhorar a remoção de resíduos contaminados durante a preparação do canal radicular, utilizando instrumentos como o níquel-titânio (NiTi), limas ultrassônicas, rotativas e recíprocas, tudo isto preservando a forma original da raiz (4).

2. Extrusão Apical do Irrigante.

2.1. Definição e Mecanismos de Extrusão Apical

O fenómeno conhecido como extrusão apical do irrigante ocorre quando uma solução aplicada durante o tratamento endodôntico ultrapassa o forame apical e penetra nos tecidos periapicais. Esta situação pode resultar em problemas clínicos, tais como dor,

inflamação, edema ou até mesmo necrose de tecidos, dependendo da quantidade e da toxicidade do irrigante extruído (1,7).

Na literatura foram descritos acidentes durante a irrigação do canal radicular, que vão desde danos na roupa do paciente, salpicos do irrigante no olho do paciente ou do operador, até à injeção através do forame apical, ou enfisema aéreo e reações alérgicas ao irrigante (11,18).

Até agora, nenhuma outra solução correspondeu à eficácia do NaOCl. No entanto, a atividade citotóxica é uma deficiência bem conhecida do NaOCl que pode causar efeitos lesivos agudos se atingir a área periapical em um pH de aproximadamente 11–12 e causa lesões principalmente por oxidação de proteínas (11,18).

Em contacto com tecidos vitais, o NaOCl oxida rapidamente os tecidos circundantes, levando à hemólise e ulceração rápidas, inibição da migração de neutrófilos e destruição de células endoteliais e fibroblastos. A extrusão de NaOCl durante o tratamento endodôntico radical é comumente referida como "o acidente de hipoclorito", que causa sintomas agudos imediatos e sequelas potencialmente graves (18).

2.2. Fatores que Influenciam a Extrusão Apical do Irrigante

Os fatores que influenciam a extrusão apical do irrigante são múltiplos, nomeadamente a injeção inadvertida de hipoclorito de sódio para além do forame apical (principalmente, em dentes com forame apical largo ou quando a constrição apical foi destruída durante a preparação do canal radicular ou por reabsorção), a pressão extrema durante a irrigação ou a fixação da ponta da agulha de irrigação no canal radicular (sem libertação do irrigante para sair do canal radicular coronalmente) que pode resultar no contacto de grandes volumes do irrigante com os tecidos apicais, a determinação imprecisa do comprimento de trabalho, o alargamento iatrogénico do forame apical, a perfuração lateral ou encravamento da agulha de irrigação (11).

Se existir uma perfuração ou um ápice aberto, é necessária uma atenção especial durante a irrigação (18).

As lesões ósseas podem também contribuir para a extrusão do irrigante, reduzindo a resistência do tecido periapical à extrusão. As lesões periapicais de longa duração também têm sido associadas a uma maior possibilidade de reabsorção radicular apical externa, resultando num efeito semelhante à sobreinstrumentação. Um percurso com resistência tecidual reduzida em direção aos tecidos moles, à cavidade oral ou ao seio maxilar (i.e., fenestração ou perfuração do osso cortical, trato sinusal, comunicação direta com o seio maxilar ou perfuração radicular) poderá ser um fator adicional que leva a acidentes de extrusão. Se isto ocorrer, a excelente capacidade de dissolução tecidual do hipoclorito de sódio levará à necrose tecidual (8,11).

Diversos modelos de estudo têm sido utilizados para detetar a extrusão de irrigantes. Por exemplo, foi utilizada uma solução radiopaca para observar a extrusão apical do irrigante em doentes com polpas necróticas (8).

Em 2010, foi apresentado um modelo utilizando a análise de imagens para avaliar a extrusão apical do irrigante de dentes extraídos com ambiente periapical simulado (19).

Mais recentemente, um método de quantificação do volume de irrigante extruído durante a irrigação do canal radicular foi examinado utilizando uma sonda de condutividade pontual, determinando a concentração de eletrólitos. Concluíram que a frequência de extrusão de NaOCl dependia do tipo de sistema de irrigação do canal radicular e do tamanho da preparação apical, sendo que a irrigação com seringa e agulha com fenda resultava na maior extensão de extrusão. Os métodos de irrigação ultrassónica passiva (PUI) e de irrigação subsónica (Endo Activator [EA]; Dentsply, York, PA) foram recentemente propostos para melhorar a eficácia da irrigação. No entanto, a segurança destes novos métodos ainda não foi avaliada (19).

2.3. Relação entre Tipo de Agulha e Quantidade de Extrusão do Irrigante

A irrigação convencional com seringa e agulha continua a ser amplamente aceite. Os manuais de endodontia clássicos referem-se à irrigação manual como um procedimento simples e fornecem orientações gerais para maximizar a eficiência da irrigação e evitar a extrusão do irrigante para o tecido periapical (20).

Durante o procedimento endodôntico, a agulha usada tem um impacto direto na quantidade de irrigante que pode ser libertada além do forame apical. Os principais elementos ligados à agulha que influenciam o risco de extrusão são o formato da ponta, o tamanho e a forma de utilização do irrigante (18,20).

Para evitar acidentes com NaOCl, os médicos devem ter cuidado com a distância a que a agulha de irrigação é colocada no canal. As recomendações incluem não prender a agulha no canal, não colocar a agulha perto do comprimento de trabalho e utilizar um caudal suave para evitar acidentes com consequências potencialmente graves (21).

2.4. Impacto Clínico da Extrusão Apical: Riscos, Complicações e Terapêutica

Sintomatologia e terapêutica após injeção inadvertida de NaOCl nos tecidos periapicais

Sintomatologia

Dor intensa imediata

Edema imediato dos tecidos moles vizinhos

Possível extensão do edema sobre a metade lesada da face, lábio superior, região infra-orbitária

Hemorragia profusa do canal radicular

Hemorragia intersticial profusa com hemorragia da pele e mucosa (equimose)

Sabor a cloro e irritação da garganta após injeção no seio maxilar

Possível infecção secundária Anestesia reversível ou parestesia possível (11).

Tratamento

Informação ao doente sobre a causa e gravidade da complicação

Controlo da dor: anestesia local, analgésicos

Em casos graves: referência para um hospital

Compressas frias extra-orais para redução do inchaço

Após 1 dia: compressas quentes e colutórios quentes frequentes para estimulação da circulação sistémica local

Recordação diária para controlo da recuperação

Antibióticos: não obrigatórios. Apenas em casos de alto risco ou evidência de infecção secundária Anti-histamínico: não obrigatório

Corticosteroides: controversos

Terapia endodôntica adicional com solução salina estéril ou clorhexidina como irrigantes do canal radicular (11).

3. Agulhas de Irrigação

3.1. Tipos de Agulhas de Irrigação

No procedimento endodôntico, a seleção da agulha de irrigação é fundamental para assegurar uma limpeza eficiente do sistema de canais radiculares, reduzir a formação da camada de *smear layer* e prevenir a extrusão apical do irrigante. As agulhas são categorizadas com base no formato da sua ponta e na direção do fluxo do irrigante.

O tipo de sistema de irrigação do canal radicular pode afetar a quantidade de detritos extruídos apicalmente ou de irrigante. A irrigação convencional com agulha é a principal técnica utilizada durante a irrigação do canal radicular. O nível de inserção da ponta da agulha no canal é o principal fator envolvido na penetração da solução devido à pressão positiva (22).

Para aumentar a eficiência da irrigação com seringa, foram propostos diferentes tipos de agulhas (23). Na irrigação convencional foram descritos 6 tipos de agulhas (Figura 1) que podem ser divididos em dois grupos principais: agulhas de ponta aberta (A-C) e agulhas de ponta fechada (D-F) As agulhas de ponta aberta incluem agulhas planas, biseladas e entalhadas. As agulhas de ponta fechada, por sua vez, incluem as de ventilação lateral única, as de ventilação lateral dupla e as de ventilação múltipla (24).

3.2. Design de equipamentos de irrigação e Comparação de Eficiência entre os Tipos de Agulhas

O design do equipamento de irrigação tem um impacto significativo na sua eficiência. Sondas como a Max-i-Probe demonstraram maior eficácia, destacando-se como a opção mais adequada para irrigação endodôntica (25).

O tipo de agulha tem um impacto significativo na forma como o irrigante flui através do canal radicular. Agulhas com abertura lateral (Max-i-Probe) são mais seguras para reduzir o risco de extrusão apical, ao passo que agulhas de ponta aberta (NaviTip) podem ser mais eficientes na distribuição do irrigante, porém apresentam um risco maior de extrusão apical (24).

A agulha não deve ser inserida a uma profundidade muito próxima do comprimento de trabalho total, inseri-la a 2-3 mm acima do CT pode ser vantajoso (26).

As agulhas com um orifício lateral e ponta de segurança mostraram-se mais eficientes na eliminação bacteriana, resultando em uma percentagem reduzida de bactérias remanescentes (67,9%). As agulhas que possuem dois orifícios laterais (75,3%) e as convencionais (77,7%) mostraram um desempenho inferior (27).

As Max-iProbe tiveram o desempenho geral mais eficiente na remoção de detritos, evidenciando maior eficiência em relação a outros aparelhos. As peças de mão ultrassônicas e subsônicas apresentaram resultados intermediários, enquanto as agulhas convencionais mostraram-se menos efetivas (25).

A escolha acertada do tipo de agulha, profundidade de inserção e forma de irrigação, é imprescindível para minimizar a extrusão apical de detritos e irrigantes, favorecendo os resultados endodônticos e diminuindo as complicações pós-operatórias (26).

Tradicionalmente, os irrigantes são administrados por agulhas anestésicas 25-G, 27-G e 30-G. As agulhas perfuradas também têm sido defendidas. No entanto, a avaliação comparativa da eficiência mecânica de diferentes designs de pontas de agulhas de irrigação na limpeza dos canais radiculares não foi relatada. Isto pode dever-se às dificuldades em recuperar toda a amostra do canal para quantificação (27).

Para otimizar a limpeza do canal radicular, foi lançada no mercado uma agulha flexível de polietileno, com duas saídas laterais e uma extremidade fechada (IrriFlex, PD Dental, Suíça). Esta agulha, com dupla ventilação, pode gerar dois jatos oblíquos que proporcionam um grande volume de solução de irrigação num caudal elevado e

redução do risco de extrusão apical. No entanto, a eficiência desta nova agulha ainda tem de ser avaliada (28).

Para ultrapassar a dificuldade de entrega do irrigante nas partes mais apicais do sistema de canais radiculares e a possibilidade de injeção inadvertida para além do forame apical (29), foi introduzida na endodontia a técnica da pressão negativa apical (PNA)(30). Técnicas que utilizam pressão negativa podem ser mais eficazes e seguras ao realizar a aspiração de irrigantes. Novos dispositivos de irrigação com pressão negativa têm sido lançados no mercado, sendo necessários novos estudos para avaliar a extrusão de irrigantes destes dispositivos. O equipamento de pressão negativa EndoVac (Discus Dental, Culver City, CA, USA) destaca-se nos estudos anteriores por resultar em pouca extrusão quando comparado com outros métodos, como o Self-Adjusting File - SAF (ReDent-Nova, Ra'anana, Israel) e o sistema de agitação sónico - EDDY (VDW, Munich, Germany), por exemplo.

O sistema EndoVac (Discus Dental, Culver City, CA, EUA) foi introduzido em 2007 e foi projetado para fornecer irrigantes, com segurança, ao terminal apical dos canais radiculares. O dispositivo consiste em uma ponta de entrega/evacuação que é anexada a uma seringa contendo o irrigante e sucção de alta velocidade da cadeira dentária. Usando uma combinação de macro ou micro cânulas presas ao dispositivo de sucção, o irrigante é introduzido na câmara da polpa e é então puxado por pressão negativa pelo canal até a ponta da cânula e, em seguida, removido através de uma mangueira de sucção posicionada de forma coronal (31).

Fukumoto *et al.* avaliaram a técnica de aspiração intracanal para irrigação e consideraram-na melhor para a remoção da camada de esfregaço, quando comparada com a irrigação convencional. Eles também relataram que essa técnica de aspiração intracanal resultou em extrusão limitada de irrigantes além do forame apical (31).

A Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) representa uma ferramenta poderosa para investigar padrões de escoamento através de modelos matemáticos e simulação computacional. As simulações CFD podem fornecer detalhes do campo de

velocidades, tensão de cisalhamento e pressão em áreas nas quais as medições experimentais são difíceis de realizar.

Recentemente, foi proposto um modelo CFD para avaliação do fluxo do irrigante no canal radicular e foi posteriormente validado por comparação com dados experimentais de imagens de alta velocidade (23). Estudos de CFD mostraram que as agulhas de extremidade aberta produzem maior velocidade apical e stress de cisalhamento, melhorando a remoção de detritos e biofilme na região apical (20). Pelo contrário, as agulhas fechadas com ventilação lateral direcionam o fluxo principalmente para a lateral, limitando a troca de irrigante apicalmente à ponta da agulha (23).

Estas percepções também destacam a importância do posicionamento da agulha, com recomendações para posicionar agulhas de ponta aberta 2–3 mm a menos do comprimento de trabalho, para otimizar a eficiência da limpeza e minimizar a extrusão apical (20). Mais estudos utilizando essas técnicas devem ser conduzidos para obter insights mais profundos sobre os aspectos físicos da utilização da agulha IrriFlex (28).

A CBCT (Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico) é uma ferramenta avançada e inovadora na endodontia. Ela tem um feixe de raios X em forma de cone que captura um volume cilíndrico ou esférico de dados, descrito como o campo de visão. Um volume 3D de dados é adquirido com uma única varredura do scanner, usando uma relação simples e direta entre a fonte do feixe e o sensor, este último, girando 180-360° ao redor da cabeça do paciente. Durante a sequência de exposição, centenas de imagens, de projeção plana, do campo de visão (FOV) são obtidas, num arco de, pelo menos, 180°. Desta forma, a CBCT apresenta imagens radiográficas 3D precisas, essencialmente exatas, e imediatas. Apenas uma sequência rotacional do pórtico é necessária para adquirir dados suficientes para a reconstrução da imagem, pois, a exposição CBCT incorpora todo o FOV. Cada imagem de projeção consiste em até 5122 pixels. Além disso, o conjunto de dados 3D reconstruído será composto por 5123 pixels 3D, ou voxels (32). Devido a estas características, torna-se um instrumento válido para a detecção da extrusão apical do irrigante e permite que o volume extruído apareça na imagem de forma precisa.

Tendo como objetivo avaliar o extravasamento apical do irrigante em réplicas dentárias, de primeiro molar mandibular em resina 3D, o presente estudo comparou três tipos de agulhas: (A) agulha de ponta aberta, entalhada/fenda; (B) agulha de ponta fechada com ventilação lateral única, irrigação pressurizada, convencional ou positiva; (C) agulha de ponta fechada IrriFlex, de polietileno, com dupla ventilação lateral, associada a um dispositivo de irrigação EndoVac, dispositivo de irrigação por pressão negativa.

II.MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste estudo está de acordo com os estudos de Tanomaru-Filho *et al.* e de Baasch A *et al.* (28,33).

Tratando-se de um estudo *in vitro*, num ambiente controlado de laboratório, com réplicas dentárias em resina 3D com canais radiculares padronizados, foi possível ter o controlo preciso das variáveis e reproduzir de forma fidedigna toda a investigação nos vários grupos, o que representa uma vantagem para a presente investigação, embora não seja possível reproduzir fielmente todas as condições humanas, nomeadamente a resposta tecidual da extrusão apical.

1.Seleção e preparação dos dentes

Foram utilizadas trinta réplicas dentárias em resina 3D com canais radiculares padronizados, disponíveis comercialmente (Surpreendente 3D, Vila Nova de Gaia, Porto, Portugal) de diferentes molares mandibulares naturais, com os seguintes parâmetros: molares mandibulares de Classe II de Vertucci, com raízes moderadamente curvadas (10–20°) com base nos critérios de Schneider, sempre com istmo entre ambos os canais na região apical, com acesso coronal convencional, tendo diâmetros apicais não superiores ao tamanho #20 e com comprimento de trabalho determinado de 20 mm nos canais mesiais e 21 mm no canal distal (34).

Os espécimes foram divididos aleatoriamente em 3 grupos experimentais (n=10 para cada grupo). Em cada dente foi realizada uma CBCT - PLANMECA ProMax® 3D Mid, pré-operatória com um Voxel Size de 75µm.

Foi realizada a permeabilização apical, por uma lima apical de permeabilização (LAP), tipo K 15, com um comprimento de mais 1mm para além do CT, em todos os canais.

A preparação biomecânica das réplicas 3D foi realizada utilizando instrumentos do sistema rotatório Protaper Gold® (Dentsply Sirona), de acordo com as normas do fabricante, numa sequência de limas, dividida em duas fases:

Fase 1 de Exploração (Limas Shaping) - S1: alargamento da porção coronária e do terço médio e S2: alargamento do terço médio e parte do terço apical.

Fase 2 de Preparação Apical (Limas Finishing) - F1: ponta de 20, conicidade .07, F2: ponta de 25, conicidade .08, F3: ponta de 30, conicidade .09.

Estas limas são constituídas por material de Liga NiTi, com tratamento térmico, da fabricante Dentsply Sirona (Proprietary Gold Wire™), com flexibilidade aumentada para melhor respeito da curvatura do canal, com resistência à fratura, com memória de forma reduzida (o que permite pré-curvatura manual), com movimento rotatório contínuo (não recíprocante) e com uma velocidade de rotação de 300 RPM (recomendado pelo fabricante).

2.Métodos de irrigação dos canais radiculares

O método de irrigação nos grupos (A) – agulha de ponta aberta, entalhada/fenda – e (B) – agulha de ponta fechada com ventilação lateral – foi o método de irrigação pressurizada (convencional ou positiva). A instrumentação iniciou-se com a LAP (K15), de seguida foi feita uma irrigação inicial de 2ml de solução de hipoclorito de sódio a 5,25% (NaOCl), tendo-se trocado, de seguida, a lima para nova irrigação, novamente com 2ml, repetindo este processo até se totalizar um volume total de 12 ml de NaOCl em cada canal, com movimentos de entrada e saída de 3-4 mm de amplitude.

No grupo (C), foi utilizado o método de irrigação pressurizada – convencional ou positiva – associado à irrigação por pressão negativa. A instrumentação iniciou-se

com a LAP (K15, manual), passando-se depois à instrumentação mecanizada. Na Fase 1, utilizou-se a agulha IrriFlex, irrigando-se com 2 ml de hipoclorito de sódio (NaOCl) a 5,25%. Após a troca da lima para S1, realizou-se nova irrigação com 2 ml da mesma solução, ainda com a mesma agulha, antes de trocar a lima para S2. Na Fase 2, alterou-se a agulha IrriFlex para EndoVac, que utiliza a microcânula apical com sucção negativa, controlada por um sistema de vácuo conectado ao aspirador de saliva da cadeira. Nesta fase, realizaram-se mais quatro irrigações com 2 ml cada, trocando-se a lima entre cada uma delas (F1, F2, F3), totalizando 8 ml de solução. Neste processo, foi utilizado um volume total de 12 ml de NaOCl em cada canal, com movimentos de entrada e saída de 3-4 mm de amplitude apenas na agulha IrriFlex.

Em todos os grupos, a agulha de irrigação foi posicionada a 2 mm abaixo do nível de trabalho (CT), de acordo com estudos anteriores. O protocolo de instrumentação foi igual em todos os grupos, diferindo o método de irrigação utilizado. Todos os procedimentos de irrigação e preparação dos dentes foram realizados por um único operador treinado, de acordo com a taxa de fluxo e o método de irrigação.

3.Simulação de tecidos com modelo de hidrogel – réplicas 3D em resina



Figura 1. Réplicas 3D em resina. Fonte: Dente Surpreendente 3D, Vila Nova de Gaia, Porto, Portugal

Fonte: dente Surpreendente 3D, Vila Nova de Gaia, Porto, Portugal

Para simulação de tecidos foi utilizado um modelo de hidrogel nas réplicas 3D em resina (Figura 1). Uma agulha NaviTip 30G preencheu uniformemente o sistema de canais, fornecendo a mistura de biofilme artificial (AB) formulada com um hidrogel. No momento da injeção, o hidrogel manteve-se no estado líquido e apresentou excelentes

propriedades capilares, garantindo uma distribuição uniforme e sem espaços vazios em todas as zonas do canal. O hidrogel foi preparado seguindo o método de Baasch *et al.* (28).

Seguidamente o ápice radicular foi envolvido por um pedaço cuboide para simulação de tecidos, com o mesmo material de hidrogel contido nos canais radiculares, com dimensões padronizadas, para simular uma ligeira resistência do tecido periapical e para evitar qualquer perda de material extruído (35).

4. Grupos experimentais

Foram utilizadas um total de 30 réplicas de dentes de resina 3D. Os espécimes foram divididos aleatoriamente em 3 grupos experimentais. Cada grupo incluiu 10 réplicas de dentes de resina 3D para permitir uma comparação abrangente, envolvendo diferentes tipos de agulhas como parte do estudo. Todos os procedimentos de irrigação foram realizados por um único operador treinado, de acordo com a taxa de fluxo e o método de irrigação.

Grupo (A)

Irrigação pressurizada (convencional ou positiva);

Os canais radiculares foram irrigados usando uma agulha de ponta aberta (entalhada/fenda) 30G (NaviTip, Ultradent Products, EUA) e seringa de 5 ml (Ultradent Products, EUA), com irrigação com 2ml em cada aplicação, posicionada até 2 mm aquém do CT.

Grupo (B)

Irrigação pressurizada (convencional ou positiva);

Os canais radiculares foram irrigados usando uma agulha de ponta fechada com ventilação lateral única 30G (Max-i-Probe, Coltene Whaledent, Altstätten, Suíça) e seringa de 5 ml (Ultradent Products, EUA), com irrigação com 2ml em cada aplicação, posicionada a 2 mm aquém do CT.

Grupo (C)

Irrigação pressurizada (convencional ou positiva) em associação com a irrigação por pressão negativa;

Os canais radiculares foram irrigados usando uma agulha de ponta fechada IrriFlex de polietileno flexível, com dupla ventilação lateral e seringa de 5 ml (Ultradent Products, EUA), com irrigação com 2ml em cada aplicação, posicionada até 2 mm aquém do CT, associada com um dispositivo de irrigação de pressão negativa EndoVac (Discus Dental, Culver City, CA, USA).

A macrocânula foi posicionada a 2mm aquém do comprimento de trabalho e a cânula de irrigação foi posicionada na câmara pulpar. Os irrigantes foram administrados lentamente seguindo sempre o mesmo protocolo. Em todos os grupos, a agulha de irrigação foi posicionada a 2 mm abaixo do nível de trabalho (CT), de acordo com estudos anteriores (23,24).

5.Deteção de extrusão apical do irrigante

Após a conclusão da preparação químico-mecânica, uma segunda CBCT - PLANMECA ProMax® 3D Mid (Figura 2) foi realizada para avaliar a extrusão apical do irrigante, através do volume extruído.

O protocolo de utilização da CBCT iniciou-se com o posicionamento do dente em resina 3D, na sua face vestibular (Figura 3) e processando a imagem, do mesmo, no Romexis (software da PLANMECA), onde será convertida para os planos coronal, sagital e axial e obtida em 3D, com as seguintes características: tamanho 4.0 x 5.0 cm (534 x 534 x 668), Voxel size 75µm, número de serie TDMP93254GB, KV 90, mA 12,5, s 15,033 e DAP (mGy*cm²) 659, mudando apenas a data e hora, tendo em conta quando foram obtidas as imagens em 3D. De seguida, usando a técnica da segmentação, posicionou-se a linha inicial a 1mm abaixo do volume extruído (representado por um halo preto) (Figura 4), nos planos coronal, sagital e axial. A leitura do halo preto foi realizada a partir do comando "*Free Region Glow Too*" (Figura 5), que é uma ferramenta de segmentação semiautomática usada para delimitar volumes com base em densidade (intensidade de voxels), essencial para medir o volume do material extruído e desenharam-se, depois, contornos da área segmentada ao longo de toda a extrusão (no plano axial) (Figura 6), até que a linha terminou a

1mm acima do volume extruído. A extrusão do irrigante foi realizada através da comparação das duas CBCTs, inicial e final. Foi possível verificar as diferenças entre ambas e foi possível determinar a quantidade de material extruído através da medição do volume da CBCT final. Após terminar este processo, através das medições lineares de extrusão e usando o comando “create region” (Figura 7), vamos encontrar o volume total (em cm^3) (Figura 8) e a área total (em mm^2) da extrusão apical do irrigante. Todos os passos, desde o inicial até ao final, foram documentados.



Figura 2. CBCT - PLANMECA ProMax® 3D Mid



Figura 3. Posicionamento do dente 3D na sua face vestibular

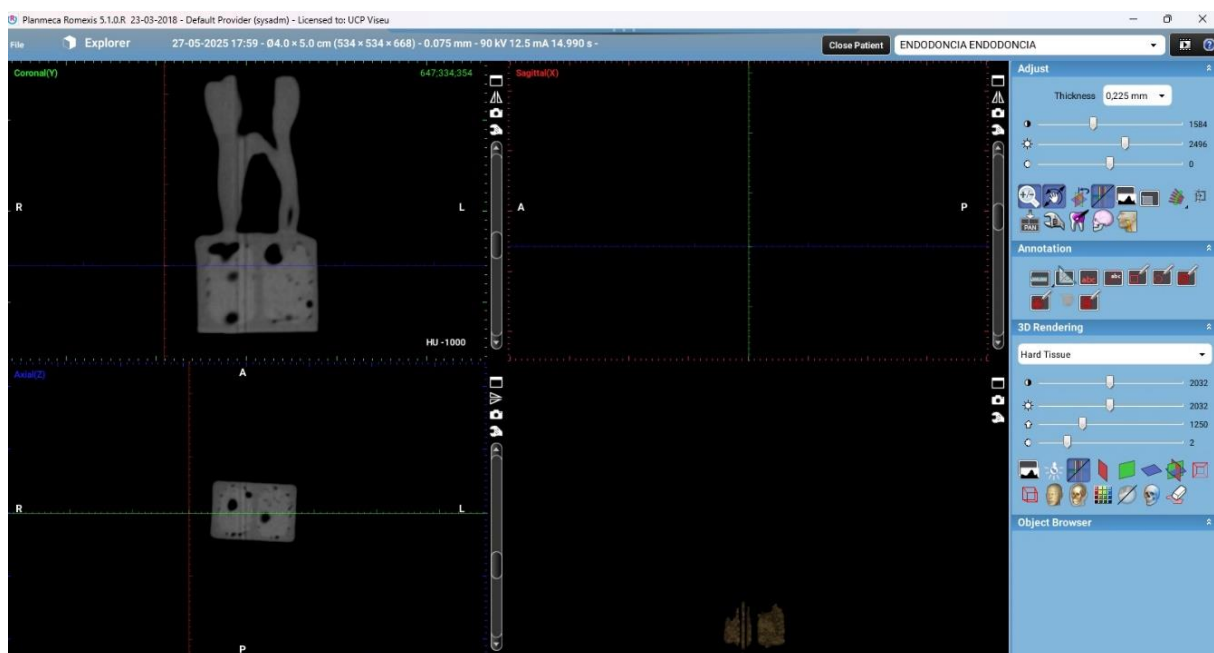


Figura 4. Linha inicial a 1mm abaixo do volume extruído

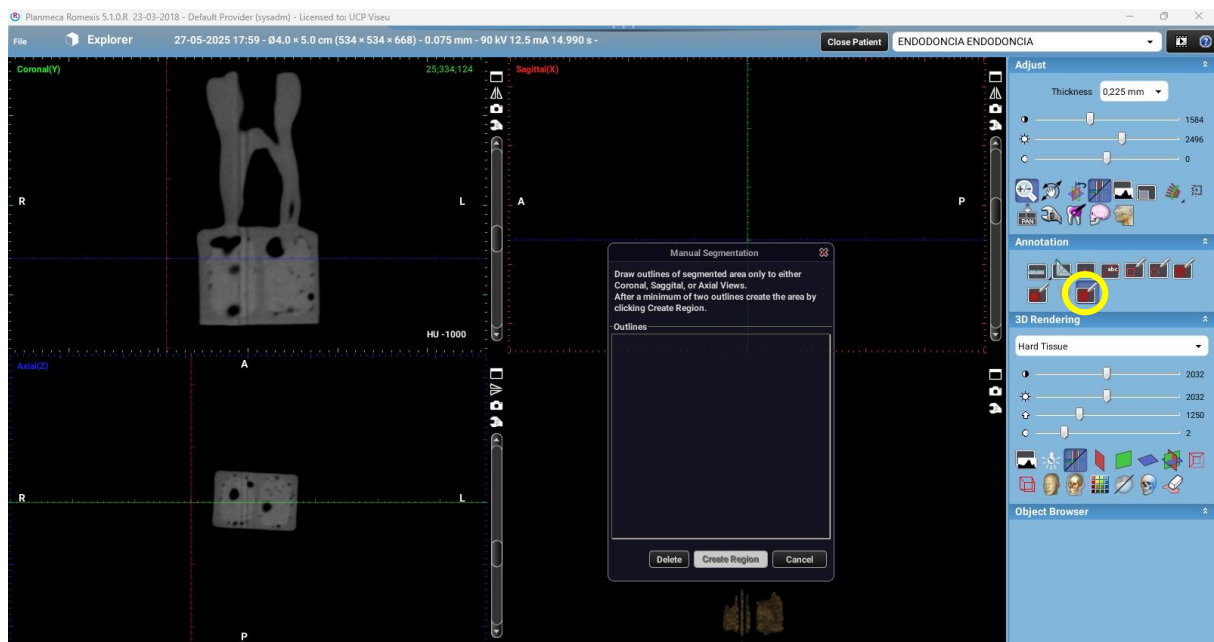


Figura 5. Free Region Glow Too

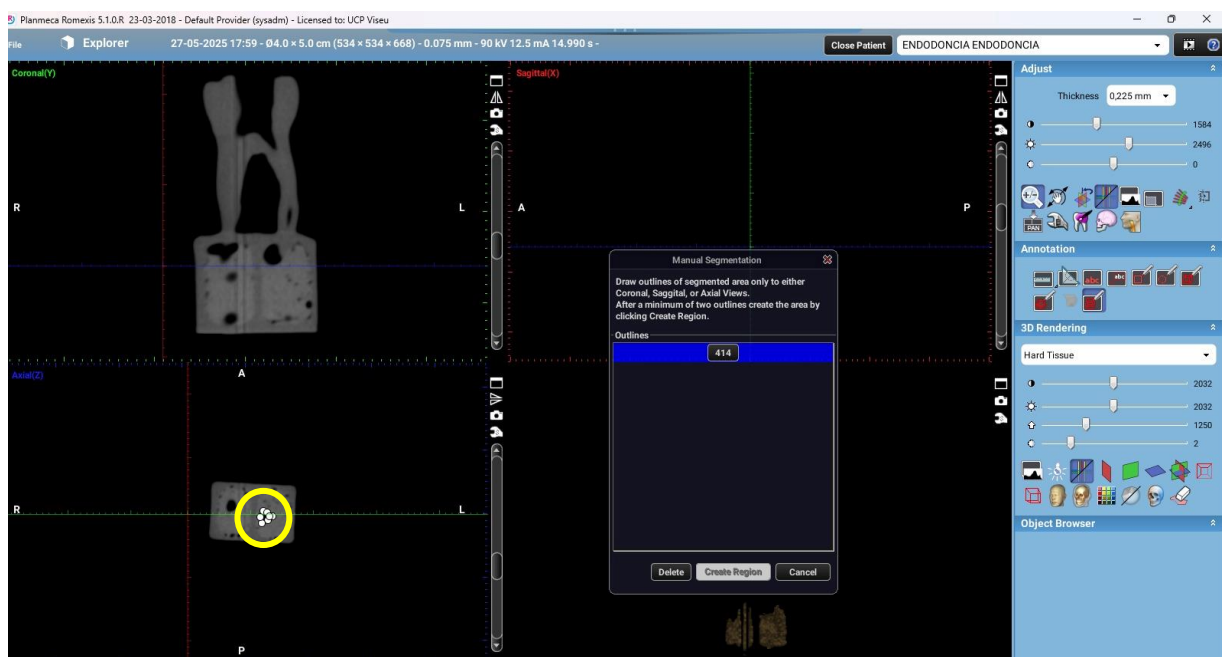


Figura 6. Contornos da área segmentada ao longo de toda a extrusão

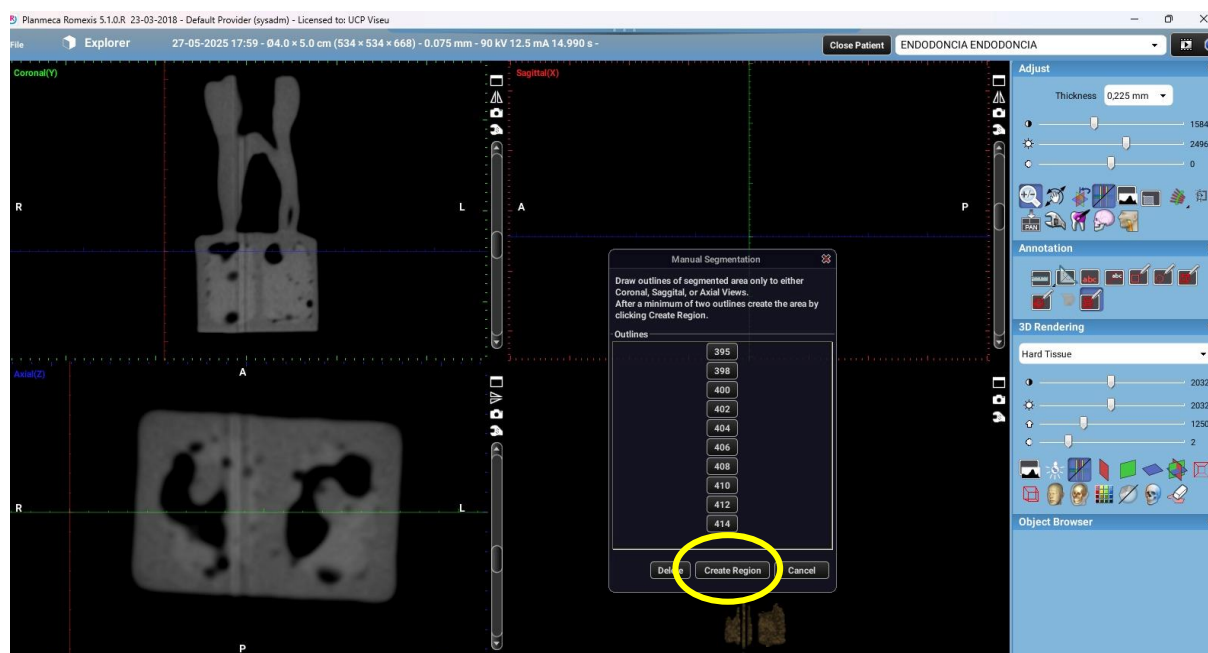


Figura 7. "Create Region"

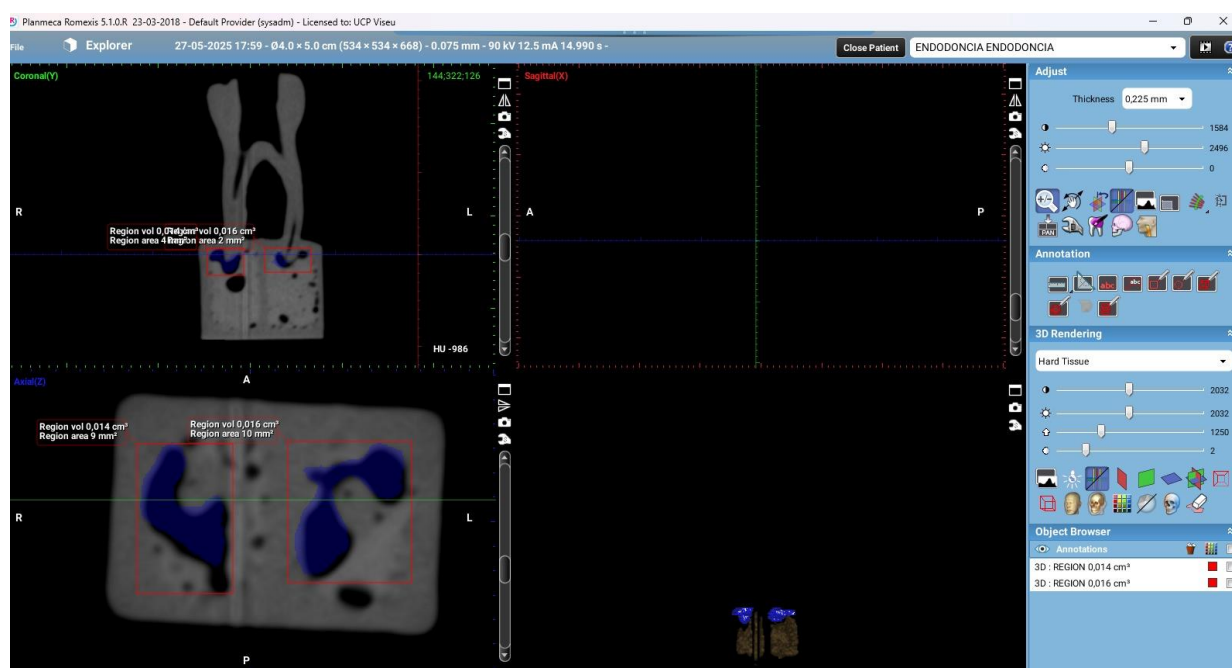


Figura 8. Volume da extrusão apical

6.Procedimentos de análise dos dados

O tratamento estatístico dos dados foi realizado recorrendo a um programa informático SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versão 26.0. Utilizou-se um nível de significância de 5%. Na análise descritiva recorreram-se a algumas medidas

(mínimo, máximo, média, desvio padrão e mediana), assim como aos diagramas de extremos e quartis. Para comparar os resultados entre agulhas, recorreu-se ao teste, não-paramétrico, *Kruskal-Wallis*, pois as amostras utilizadas eram de pequena dimensão e não se verificou o pressuposto da normalidade na maioria das distribuições utilizadas.

As diferenças entre os grupos experimentais foram analisadas com o volume da solução nos canais após irrigação e a extrusão apical do irrigante (mm^3) por CBCT em comparação com a análise inicial.

III.RESULTADOS

Foram considerados dez dentes em resina 3D em cada agulha: (A) ponta aberta (entalhada/fenda), (B) ponta fechada (ventilação lateral única) e (C) IrriFlex (com dupla ventilação lateral) associada a EndoVac. Para cada dente foram extraídas as medidas de extrusão apical em: volume (cm^3), área coronal (mm^2), área sagital (mm^2) e área axial (mm^2) nos canais D e MV/ML. Posteriormente definiu-se uma variável, área média obtida a partir das três anteriores para cada canal em cada agulha. Nas Figuras 9, 10 e 11 podemos ver a imagem inicial, a imagem final e a imagem em 3D do volume de extrusão apical, na CBCT, antes e depois do processo de preparação químico-mecânica.



Figura 9. CBCT Inicial

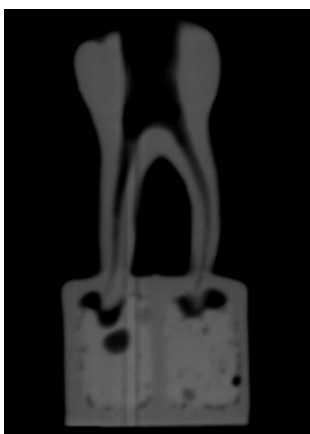


Figura 10. CBCT Final

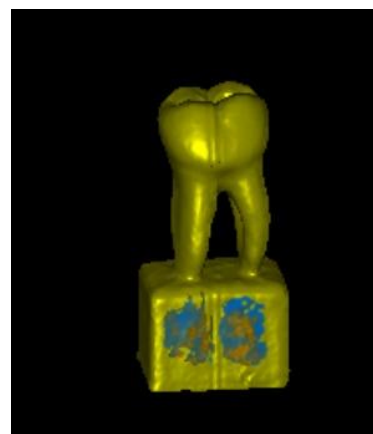


Figura 11. CBCT em 3D

Na Tabela 1 apresenta-se a caracterização dos resultados obtidos, por agulha e canal.

Tabela 1. Caracterização dos resultados da extrusão apical do irrigante, por agulha e canal

Grupo	Canal	Medida	Mínimo- Máximo	Média	Desvio padrão	Mediana	Teste <i>Kruskal- Wallis</i>
(A)	D	volume (cm ³)	0,00 – 0,73	0,251	0,269	0,150	H=9,12
(B)	D	volume (cm ³)	0,00 – 0,06	0,031	0,022	0,031	3
(C)	D	volume (cm ³)	0,00 – 0,10	0,020	0,031	0,007	p=0,01 0
(A)	D	área coronal (mm ²)	0,00 – 15,00	4,100	4,358	3,000	H=3,08
(B)	D	área coronal (mm ²)	1,00 – 9,00	4,300	2,751	4,000	5
(C)	D	área coronal (mm ²)	0,00 – 7,00	2,400	2,757	1,000	p=0,21 3
(A)	D	área sagital (mm ²)	0,00 – 11,00	4,300	3,592	4,000	H=2,09
(B)	D	área sagital (mm ²)	1,00 – 8,00	4,300	2,406	4,500	4
(C)	D	área sagital (mm ²)	0,00 – 8,00	2,800	3,155	1,500	p=0,31 5
(A)	D	área axial (mm ²)	0,00 – 13,00	6,400	5,082	7,000	H=1,95
(B)	D	área axial (mm ²)	1,00 – 9,00	6,000	2,667	7,000	6
(C)	D	área axial (mm ²)	0,00 – 10,00	4,000	3,712	3,000	p=0,37 6
(A)	D	área média (mm ²)	0,00 – 13,00	4,933	4,148	5,000	H=2,12
(B)	D	área média (mm ²)	1,00 – 7,67	4,867	2,400	5,167	3
(C)	D	área média (mm ²)	0,00 – 7,33	3,067	3,054	1,833	p=0,34 6
(A)	MV/ML	volume (cm ³)	0,00 – 0,77	0,143	0,244	0,012	H=0,72
(B)	MV/ML	volume (cm ³)	0,00 – 0,04	0,018	0,014	0,018	6
(C)	MV/ML	volume (cm ³)	0,00 – 0,05	0,016	0,016	0,011	p=0,69 6
(A)	MV/ML	área coronal (mm ²)	0,00 – 5,00	2,200	1,874	2,000	H=0,95
(B)	MV/ML	área coronal (mm ²)	0,00 – 4,00	2,300	1,418	2,500	6
(C)	MV/ML	área coronal (mm ²)	0,00 – 5,00	1,800	1,814	1,000	p=0,62 0

(A)	MV/ML	área sagital (mm ²)	0,00 – 8,00	2,400	2,459	2,000	H=0,31
(B)	MV/ML	área sagital (mm ²)	0,00 – 5,00	2,700	2,003	3,500	1
(C)	MV/ML	área sagital (mm ²)	0,00 – 7,00	2,400	2,413	1,500	$p=0,85$ 6
(A)	MV/ML	área axial (mm ²)	0,00 – 10,00	4,000	2,789	3,000	H=2,20
(B)	MV/ML	área axial (mm ²)	0,00 – 9,00	4,900	3,510	4,500	1
(C)	MV/ML	área axial (mm ²)	0,00 – 7,00	2,700	2,214	2,500	$p=0,33$ 3
(A)	MV/ML	área média (mm ²)	0,00 – 7,67	2,867	2,284	2,167	H=1,04
(B)	MV/ML	área média (mm ²)	0,00 – 5,67	3,300	2,214	3,500	8
(C)	MV/ML	área média (mm ²)	0,00 – 6,00	2,300	2,093	1,833	$p=0,59$ 2

H – Estatística do teste Kruskal-Wallis; p – nível de significância

Considerando o exposto na tabela anterior e atendendo à medida volume para o canal D, observa-se que, em termos médios, este é mais elevado no grupo (A), $0,251 \pm 0,269$ cm³ e mais baixo no grupo (C), $0,020 \pm 0,031$ cm³. O mesmo acontece em termos medianos. Por isso, pela aplicação do teste Kruskal-Wallis concluiu-se que as diferenças observadas são estatisticamente significativas, uma vez que $p < 0,05$, sendo os resultados do Grupo (A) que se distinguem dos outros grupos, o que foi confirmado pela aplicação das comparações dos grupos dois a dois através do teste Mann-Whitney. Com este teste, concluiu-se que os resultados do grupo (A) se distinguem significativamente do Grupo (B) ($Z = -2,118$; $p = 0,035$) e também se distinguem significativamente do Grupo (C) ($Z = -2,651$; $p = 0,007$), enquanto os resultados entre os Grupos (B) e (C) eram idênticos ($Z = -1,516$; $p = 0,143$).

Para o mesmo canal observa-se que os resultados obtidos para as áreas coronal, sagital, axial e média são, em termos médios e medianos, mais elevados nos grupos (A) e (B) e sempre inferiores no grupo (C). Ou seja, os resultados nas áreas são muito idênticos entre os grupos (A) e (B), sendo consideravelmente inferiores no grupo (C). Contudo, não se identificaram diferenças estatisticamente significativas em qualquer área analisada, uma vez que $p > 0,05$.

Considerando o canal MV/ML, os resultados para o volume são, em termos médios, mais elevados no grupo (A), $0,143 \pm 0,224 \text{ cm}^3$, seguindo-se o grupo (B), $0,018 \pm 0,014 \text{ cm}^3$ e depois o grupo (C), $0,016 \pm 0,016 \text{ cm}^3$. Contudo, pelo teste *Kruskal-Wallis*, concluiu-se que as diferenças observadas não apresentavam significância estatística, uma vez que $p > 0,05$.

Em relação à medida das diversas áreas coronal, sagital, axial e média, verificou-se que o grupo (B) apresenta, neste canal valores médios e medianos mais elevados, seguindo-se o grupo (A) e, com os resultados mais baixos, o grupo (C). Pela aplicação do teste de *Kruskal-Wallis*, concluiu-se que as diferenças observadas nas diversas áreas não apresentavam qualquer significância estatística, uma vez que $p > 0,05$.

Para reforçar as eventuais diferenças entre canais e grupos apresentam-se a seguir os diagramas de extremos e quartis das distribuições.

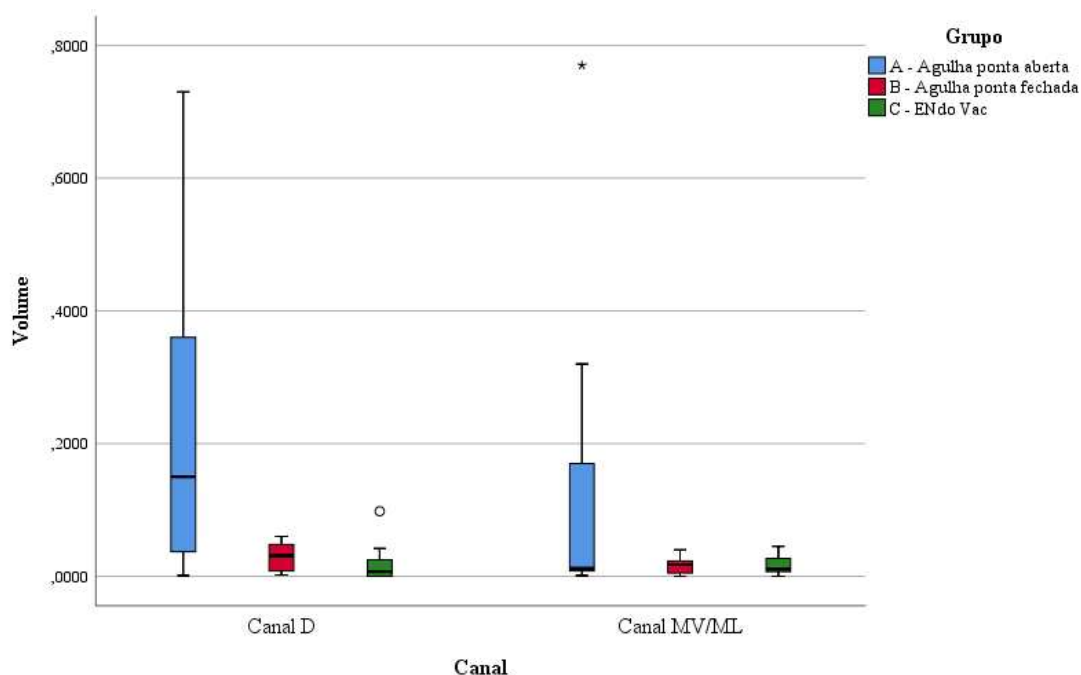


Gráfico 1. Diagramas de extremos e quartis das distribuições do volume

Atendendo ao exposto no diagrama de extremos e quartis do Gráfico 1, temos que a distribuição do volume, no grupo (A), é mais dispersa em ambos os canais. Por outro lado, as distribuições dos volumes dos grupos (B) e (C) são idênticas e muito concentradas em ambos os canais.

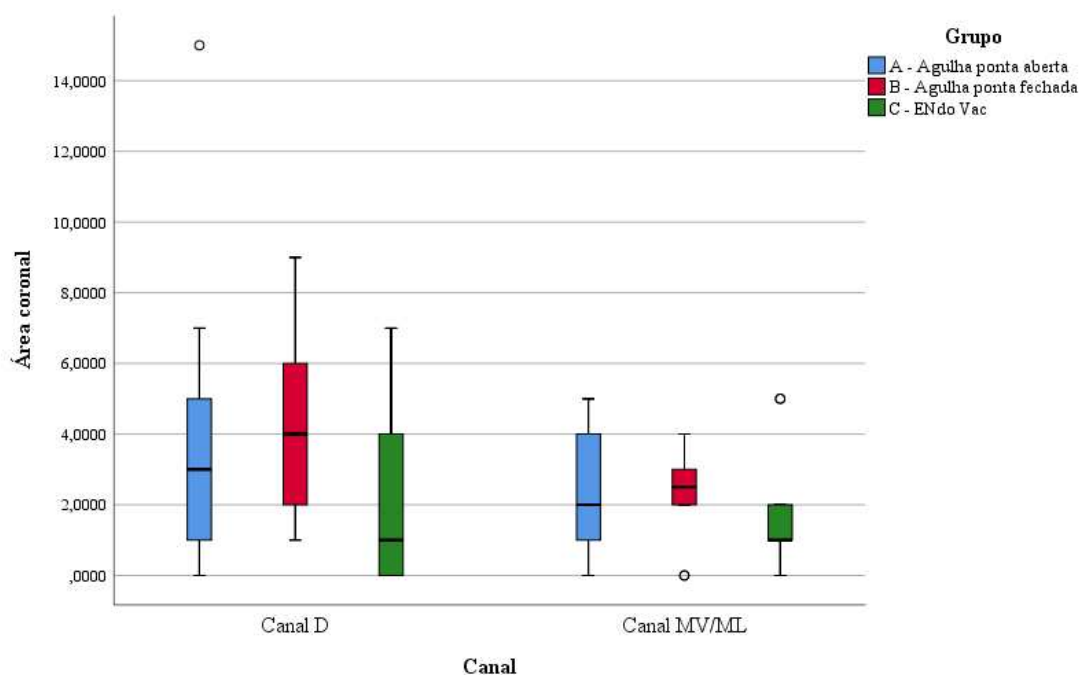


Gráfico 2. Diagramas de extremos quartis das distribuições da área coronal

Atendendo ao exposto no diagrama de extremos e quartis do Gráfico 2, observa-se que, no canal D, os resultados da área coronal apresentam alguma dispersão nos três grupos, enquanto no canal MV/ML os resultados estão mais concentrados, em especial, nos grupos (B) e (C).

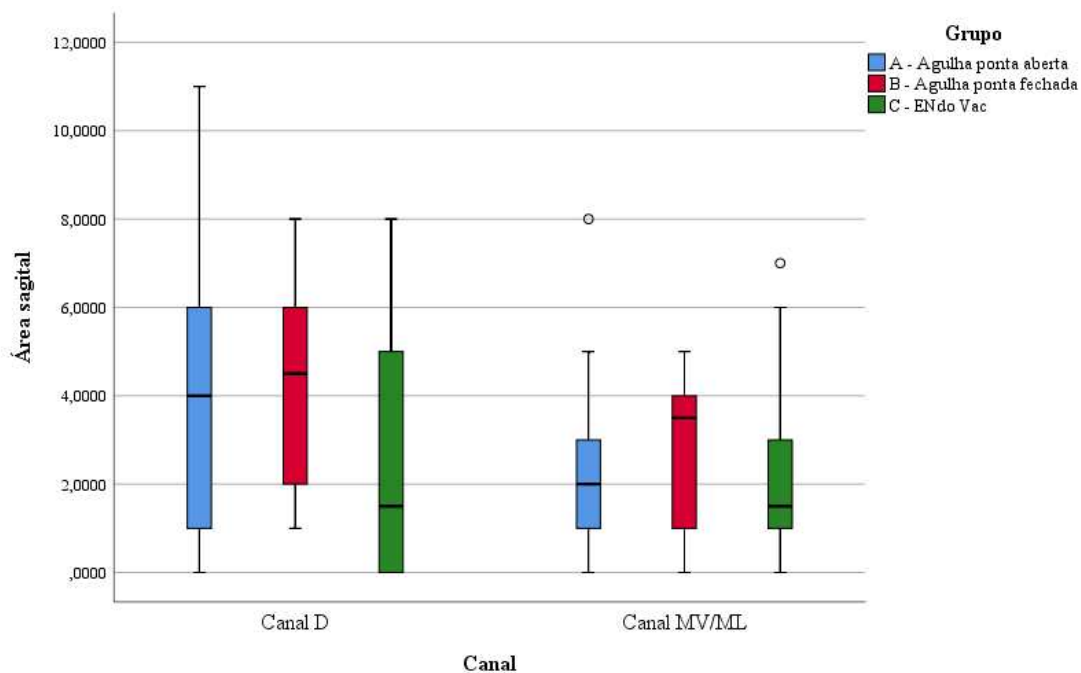


Gráfico 3. Diagramas de extremos quartis das distribuições da área sagital

Considerando o diagrama de extremos e quartis do Gráfico 3, tem-se que, no canal D, a variação da área sagital é elevada nos três grupos e no canal MV/ML os resultados estão mais concentrados.

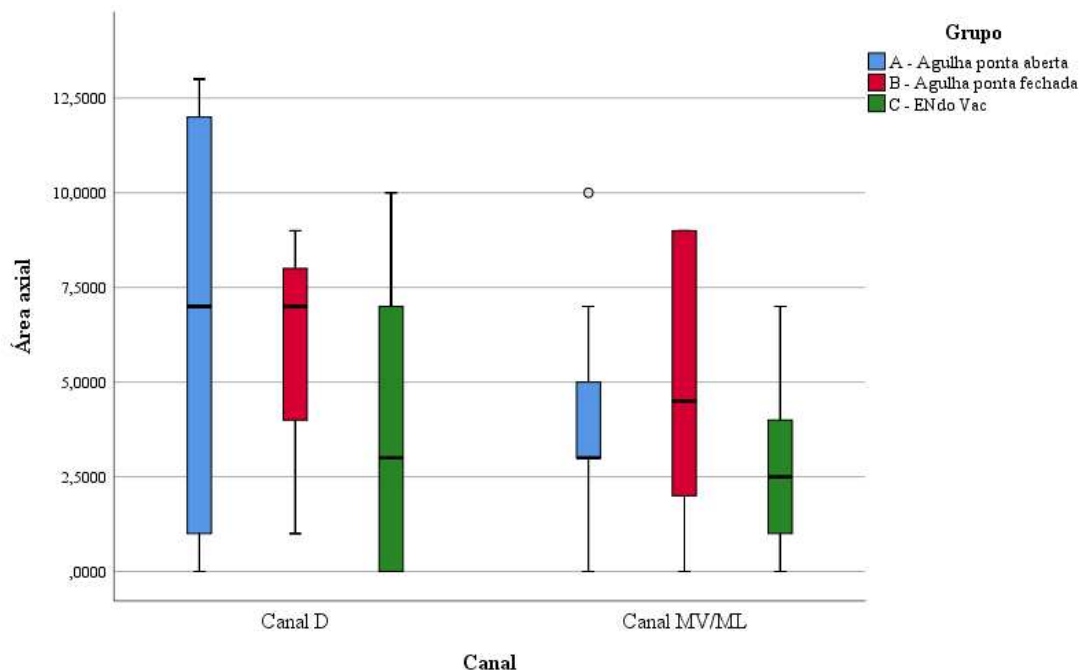


Gráfico 4. Diagramas de extremos e quartis das distribuições da área axial

No que trata a área axial, observa-se, pelo Gráfico 4 que, no canal D, no grupo (A), existe muita variação nos resultados, no caso do grupo (B) observa-se uma maior concentração e no grupo (C) volta-se a registrar um aumento da dispersão. No canal MV/ML a maior dispersão da área axial ocorre no grupo (B) e a menor no grupo (A).

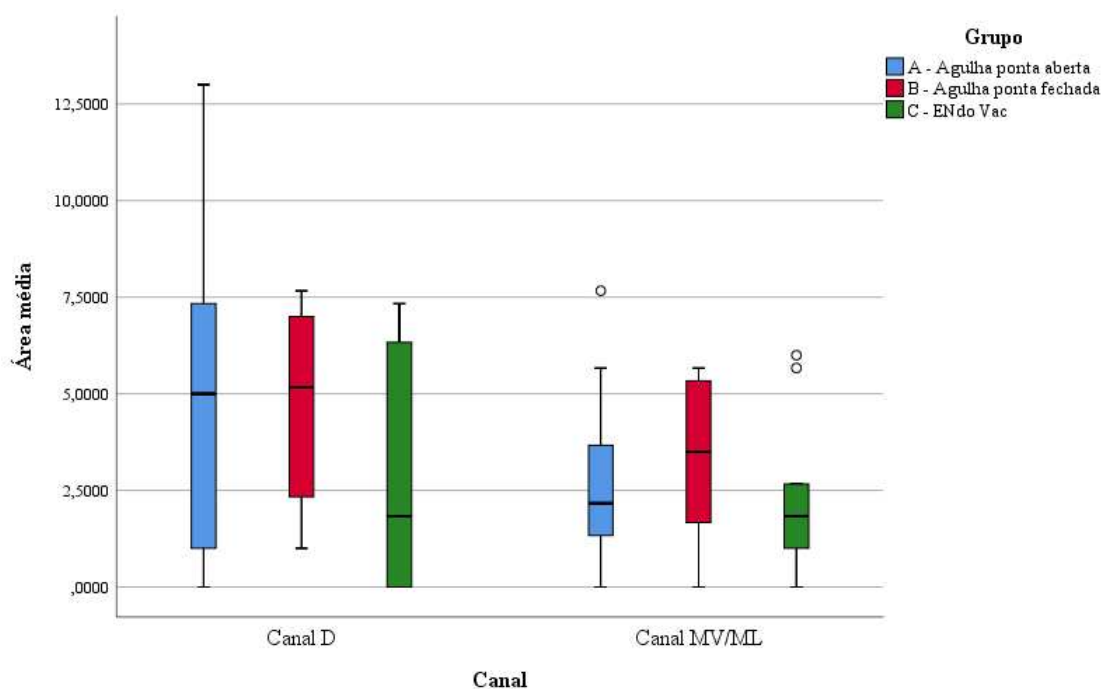


Gráfico 5. Diagramas de extremos quartis das distribuições da área média

Considerando o diagrama de extremos e quartis da área média concluiu-se que, no canal D, existe maior dispersão em todos os grupos face ao canal MV/ML.

Tabela 2. Relação entre tipos de agulhas de acordo com canal

Volume cm ³					
Canal	Grupo	Média	Desvio padrão	Soma	% do total
Canal D	A - Agulha ponta aberta	0,251	0,269	2,508	83,10%
	B - Agulha ponta fechada	0,031	0,022	0,310	10,27%
	C - ENdoVac	0,020	0,031	0,200	6,63%
	Total - Canal D	0,101	0,186	3,018	
Canal MV/ML	A - Agulha ponta aberta	0,143	0,244	1,425	80,74%
	B - Agulha ponta fechada	0,018	0,014	0,177	10,03%
	C - ENdoVac	0,016	0,016	0,163	9,24%

Total - Canal MV/ML		0,059	0,149	1,765	
Total	A - Agulha ponta aberta	0,197	0,256	3,933	82,23%
	B - Agulha ponta fechada	0,024	0,019	0,487	10,18%
	C - ENdoVac	0,018	0,024	0,363	7,59%
	Total	0,080	0,168	4,783	

Na Tabela 2, podemos verificar que, tanto no Canal D, como no Canal MV/ML, o grupo (A) apresenta, claramente, o maior volume de extrusão apical por canal (83,10% e 80,74%, respetivamente), totalizando 82,23% do volume total extruído.

Tabela 3. Relação entre canais de acordo com tipos de agulhas

Volume cm³					
Grupo	Canal	Média	Erro Desvio	Soma	% do total
A - Agulha ponta aberta	Canal D	0,251	0,269	2,508	63,77%
	Canal MV/ML	0,143	0,244	1,425	36,23%
	Total - A	0,197	0,256	3,933	
B - Agulha ponta fechada	Canal D	0,031	0,022	0,310	63,66%
	Canal MV/ML	0,018	0,014	0,177	36,34%
	Total - B	0,024	0,019	0,487	
C - ENdoVac	Canal D	0,020	0,031	0,200	55,10%
	Canal MV/ML	0,016	0,016	0,163	44,90%
	Total -Endo Vac	0,018	0,024	0,363	
Total	Canal D	0,101	0,186	3,018	63,10%
	Canal MV/ML	0,059	0,149	1,765	36,90%
	Total	0,080	0,168	4,783	

Na Tabela 3, podemos verificar que o Canal D, independentemente do grupo/tipo de agulha, apresenta maior volume extruído, totalizando 63,10% contra 36,90% de volume extruído no Canal MV/ML.

IV.DISSCUSSÃO

O presente estudo comparou agulhas de ponta aberta (entalhada/fenda), agulhas de ponta fechada com ventilação lateral única e agulhas de ponta fechada IrriFlex de polietileno flexível, com dupla ventilação lateral, associado ao sistema de irrigação negativa EndoVac, quanto à extrusão apical do irrigante em anatomias complexas de réplicas 3D de molares mandibulares.

A instrumentação químico-mecânica tem sido considerada a pedra basilar do tratamento endodôntico, para eliminação bacteriana (36). Durante a preparação químico-mecânica, os detritos orgânicos e inorgânicos, os microrganismos e os irrigantes podem ser transportados apicalmente e extruídos para os tecidos perirradiculares (22).

É importante mencionar que o presente estudo não teve como objetivo distinguir entre as quantidades extruídas de detritos e irrigante. Ambos os materiais são extruídos apicalmente e ambos causam potencial inflamação periapical, dor pós-operatória, cura tardia e até necrose de tecidos, como demonstrado anteriormente (37).

A CBCT deteta volume e densidade, mas não diferencia quimicamente os materiais extruídos. Assim, a análise realizada baseia-se no volume total de extrusão, sem separação qualitativa ou quantitativa entre os elementos. As imagens produzidas pela CBCT, transversais, rápidas e precisas, sendo em 3D, facilitam medições, em comparação com as radiografias bidimensionais tradicionais (32,38). Por isso, desta forma, a CBCT consegue detectar de forma precisa a extrusão apical do irrigante.

A extrusão apical depende de vários fatores, incluindo a anatomia apical, o tipo e o tamanho da agulha de irrigação, a profundidade de colocação da agulha, o tamanho e o cone da preparação apical e a técnica de instrumentação. O design da ponta da agulha também influencia o padrão de fluxo, a velocidade do fluxo e a pressão da

parede apical, que são parâmetros importantes que explicam a eficácia e a segurança da irrigação (26).

Os resultados obtidos indicam que a anatomia da curvatura do canal radicular foi um fator que afetou a quantidade de extrusão periapical. Estudos anteriores descobriram que os canais radiculares retos ou levemente curvos geram uma pressão de irrigação mais alta do que os canais moderados ou altamente curvos. Tais resultados contradizem Psimma *et al.* (39), mas corroboram com as de Silva *et al.* (26) que demonstraram que os canais radiculares com uma curvatura entre 10° e 25° diminuí a extrusão apical.

A frequência de desvio no forame principal é significativamente maior nos dentes posteriores (43%) do que nos dentes anteriores (17%), independentemente da curvatura do canal radicular (40). Como podemos verificar na Tabela 4 dos resultados, os canais Distais, mais retos, em volume, tiveram valores percentuais mais elevados de extrusão apical (63,10%), do que os canais Mesio Vestibular e Mesio Lingual, mais curvos (36,90%), sendo que estes últimos foram contabilizados em conjunto, não havendo forma de serem contabilizados de forma individualizada, devido ao istmo que une os dois canais no cubo em hidrogel. Podemos concluir então que, apesar de uma maior quantidade de irrigação (24ml nos canais Mesio Vestibular e Mesio Lingual e 12ml no canal Distal), eles tiveram uma percentagem menor de extrusão apical do que o último.

A segurança adicional contra a extrusão do irrigante, em caso de ligação no canal radicular, é proporcionada pela extremidade fechada da agulha de ponta fechada com ventilação lateral. Por outro lado, a agulha de ponta aberta plana, entalhada ou biselada, não deve ser colocada a 1 mm devido à elevada pressão apical desenvolvida (23).

A profundidade de penetração da agulha de irrigação afeta a extrusão do irrigante e a colocação da agulha apical melhora a limpeza e a desinfecção. Neste estudo, durante a irrigação do canal radicular, a agulha estava até 2 mm aquém do comprimento de trabalho. Esses resultados, conseqüentemente, refletem a extrusão usando a posição apical presumivelmente segura das pontas irrigantes. Quanto mais a agulha é

posicionada a partir do comprimento de trabalho, menor a pressão apical é desenvolvida, mas a troca irrigante torna-se menos eficiente e a tensão de cisalhamento da parede é reduzida (26).

Esta pressão será, provavelmente, ainda maior quanto menor for o canal radicular e não estiver disponível nenhuma característica de segurança, como uma agulha de ponta fechada, para evitar a extrusão forçada em caso de ligação. Quanto mais afastada a agulha estiver posicionada do CT, menor será a pressão apical desenvolvida, mas a troca do irrigante é também menos eficiente e a tensão de cisalhamento da parede é menor. Um compromisso razoável seria a posição de 2 ou 3 mm, que ainda assim garante uma irrigação adequada (20). Por este motivo, todas as agulhas foram colocadas a 2mm aquém do CT.

No entanto, deve-se observar que o tamanho do forame anatómico foi controlado, primeiramente, com a lima K 15 para o comprimento de trabalho. Assim, o diâmetro apical final foi de apenas 0,30 mm. Estudos anteriores, mostraram que instrumentos de 0,30 mm (norma ISO), instrumentos maiores, para produzir o aumento mínimo necessário para a irrigação adequada do terço apical do canal, permitiram um melhor contacto com a parede do canal e, portanto, uma limpeza mais eficaz. A lima final de diâmetro apical neste estudo foi selecionada com base nessas descobertas anteriores (26,40,41).

Mitchell *et al.* concluíram que a irrigação com seringa e agulha com ponta aberta (entalhada/fenda) resultava numa maior extrusão, em comparação com aquelas com um design de ponta fechada (42).

Como demonstrado, no nosso estudo, o volume extruído para o canal D é maior no grupo (A); nas medidas das áreas coronal, sagital, axial e média, em termos médios e medianos, os valores são mais elevados nos grupos (A) e (B) e consideravelmente inferiores no grupo (C). Já o volume extruído para o canal MV/ML, em termos médios, é, também, mais elevado no grupo (A), seguido do grupo (B) e, por último, o grupo (C), o que vai de encontro com os estudos anteriores. Nas diversas áreas coronal, sagital, axial e média, verificou-se que o grupo (B) apresenta valores médios e medianos mais elevados, seguindo-se do grupo (A) e com os resultados mais baixos

o grupo (C), demonstrando uma maior dispersão no grupo (B). Portanto, podemos concluir que apesar do volume de extrusão do grupo (A) ser maior do que o do grupo (B), a extrusão do grupo (B) espalhou-se mais, atingindo uma área maior.

Após realização do teste Kruskal-Wallis, concluiu-se que apenas na medida volume do canal A havia diferenças estatisticamente significativas, pois $p=0,010$ ($p<0,05$), ao contrário das outras medidas, em que $p>0,05$. Por isso, recorreu-se depois ao teste Mann-Whitney para se encontrar qual o grupo diferente dos restantes e chegou-se à conclusão que era o Grupo (A) que apresentava diferenças estatisticamente significativas em relação aos outros dois grupos, pois apresentava valores de $p=0,035$ e $p=0,007$, quando comparado com os Grupos (B) e (C), respetivamente.

Os resultados evidenciados na Tabela 3 permitem concluir que o grupo (A) – agulhas de ponta aberta (entalhada/fenda) – representam 82,23% do total extruído, sendo assim o grupo com maior extrusão apical, seguindo-se, com 10,18% do total extruído, o grupo (B) – agulha de ponta fechada, com ventilação lateral única, irrigação pressurizada, convencional ou positiva – e, finalmente, com o menor valor extruído, entre todos os grupos, o grupo (C) – agulha de ponta fechada IrriFlex, de polietileno, com dupla ventilação lateral, associada a um dispositivo de irrigação EndoVac, dispositivo de irrigação por pressão negativa – com 7,59%.

Portanto, os resultados deste estudo, correlacionaram-se amplamente com estudos de Lambrianidis *et al.* (43), Brown *et al.* (44) e Roy e Laurence (45), que observaram que a irrigação com pressão positiva resultou em extrusão periapical. Este estudo também apoia o resultado de que a técnica de irrigação por pressão negativa reduziu a extrusão periapical, segundo Jamleh *et al.* (30). Ao comparar os dois sistemas, a irrigação por pressão negativa parece ser ainda mais eficaz (8).

Todos os estudos que avaliaram a extrusão apical do irrigante sugeriram que a irrigação por pressão negativa extrui menos do que a irrigação convencional. A elevada eficiência do sistema por pressão negativa em evitar a extrusão pode ser explicada pela microcânula que possui uma ponta fechada com orifícios laterais. Além disso, também foi demonstrado que uma técnica de aspiração intracanal produz uma extrusão limitada do irrigante, em comparação com a irrigação convencional (22).

Quando se utiliza o EndoVac, o bloqueio da microcânula é uma preocupação. Um dos principais objetivos da macrocânula é remover o máximo de detritos possível antes de ser utilizada a microcânula, mais pequena, reduzindo assim o material que pode entupir a microcânula.

A ação química do NaOCl ajuda a dissolver os detritos orgânicos e inorgânicos que obstruem os orifícios da EndoVac. Durante este estudo, os orifícios da microcânula ficaram obstruídos 12 vezes (Gráfico 5). Alguns deles estavam, pelo menos, parcialmente bloqueados, mas, sendo 12 orifícios no total, o sistema foi visto a funcionar eficazmente, pela visualização do fluido a mover-se através dos tubos de aspiração. A cânula foi substituída quando existia um bloqueio dos orifícios (42).

Um ensaio clínico recente concluiu que a dor pós-operatória foi significativamente menor quando se utiliza a EndoVac em comparação com a irrigação por agulha convencional. Os autores levantaram a hipótese de que essa diferença se devia ao facto da EndoVac impedir ou diminuir a quantidade de NaOCl extruída nos tecidos periapicais, o que é apoiado pelas descobertas de investigações anteriores (46).

É importante mencionar que os dentes foram instrumentados e irrigados simultaneamente, inicialmente e em cada troca de lima, o que poderia ter criado detritos que também limitavam a extrusão de irrigante (46).

Atualmente, não há muitos estudos clínicos publicados especificamente sobre a combinação entre EndoVac e IrriFlex, tornando este estudo inovador nesta matéria, demonstrando que o uso combinado destas duas técnicas é tecnicamente viável e plausível. Portanto, o grupo (C), que consiste na combinação de dispositivos de diferentes mecanismos de irrigação, pode representar uma abordagem promissora para otimizar os resultados clínicos de Endodontia. Neste contexto, o uso sequencial do IrriFlex, tratando-se de uma agulha flexível com pressão positiva e abertura bilateral, associado ao EndoVac, que é um sistema de irrigação por pressão negativa, une os benefícios de ambos os sistemas, demonstrando sempre valores mais baixos de extrusão apical relativamente ao grupo (A) e ao grupo (B) no presente estudo.

Ao contrário dos sistemas convencionais, o IrriFlex mostra a capacidade de eliminar o bloqueio de vapor, permitindo o acesso de irrigantes à área apical. Além disso, vale ressaltar que a ponta de propileno IrriFlex testada no Grupo (C) permite que a solução irrigante alcance e limpe a área apical, mesmo em áreas anatomicamente complexas, devido à flexibilidade e ao formato da agulha 30G. Por outro lado, o protocolo de irrigação PNA estudado no mesmo grupo mostra os melhores resultados tendo em conta a extrusão apical do irrigante, conforme apoiado por vários estudos.

O sistema PNA é o único sistema de irrigação que alcança resultados satisfatórios na remoção da camada de detritos no terço apical. No entanto, sua eliminação total do terço apical do canal radicular ainda representa um verdadeiro desafio (47).

A agulha de ponta aberta demonstra uma eficácia de limpeza superior no canal radicular, particularmente nas regiões média e coronal, enquanto a agulha IrriFlex tem um melhor desempenho na região apical do que as agulhas de ponta fechada (28). Enquanto o IrriFlex proporciona eficiente entrega do irrigante em canais curvos com segurança e alcance lateral, o EndoVac assegura a limpeza do terço apical por meio de sucção controlada, praticamente elimina o risco de extrusão. A associação desses sistemas é particularmente útil em casos clínicos complexos, nos quais se busca irrigação eficaz ao longo de toda a extensão do canal radicular com segurança biológica. Portanto, o sistema IrriFlex é usado durante a instrumentação para maximizar a limpeza nas regiões curvadas e laterais. O sistema EndoVac é usado após a instrumentação, no protocolo de irrigação final, para limpar o terço apical com segurança. A associação dos dois sistemas visa maximizar a eficácia do irrigante em todas as porções do canal, com mínimo risco de extrusão.

Os resultados do presente estudo demonstram, que todos os três grupos apresentaram extrusão apical do irrigante. A extrusão foi observada em todas as amostras: 100% no grupo (A) – extrusão apical em 10 de 10 amostras; 90% no grupo (B) – extrusão apical em 9 de 10 amostras; 40% no grupo (C) – extrusão apical em 4 de 10 amostras.

O Grupo (C) teve significativamente menos extrusão quando comparado aos outros grupos. Os nossos resultados foram semelhantes aos de um estudo anterior, que relataram menos extrusão de irrigante com EndoVac.

Apesar deste ser o primeiro estudo sobre a extrusão apical do irrigante com a associação entre estes dois sistemas (Irriflex e Endovac), podemos demonstrar que esta associação se traduz em menos extrusão apical do irrigante, pois conseguimos juntar a eficácia da Irriflex para a limpeza de canais na zona apical com a capacidade de eliminação da extrusão apical, traduzindo-se numa associação benéfica.

Em termos de volume, em média, nos canais D e MV/ML, respetivamente, o grupo (C) totaliza 0.020cm^3 e 0.016cm^3 , o grupo (B) totaliza $0,031\text{cm}^3$ e 0.018cm^3 e o grupo (A) totaliza $0,251\text{cm}^3$ e 0.143cm^3 . Portanto, o grupo (C) demonstra sempre uma mínima extrusão apical do irrigante em comparação aos outros dois grupos.

É de salientar que o foco do nosso estudo não é a análise da eliminação de resíduos, tendo por base estudos que demonstram que nenhuma agulha foi capaz de fazer a remoção completa do tecido na área apical e que continua a ser um desafio com as técnicas atuais. Estes estudos estão em linha com outros que reportaram uma maior incidência de tecido residual e/ou bactérias na região apical dos molares mandibulares (28).

Após a irrigação com as diferentes agulhas, há uma diminuição significativa do tecido em pelo menos metade dos casos em que foram utilizadas as agulhas de ponta fechada e em quase um terço dos casos em que foi utilizada a agulha de ponta aberta, ou a agulha Irriflex, o tecido ainda estava presente no terço apical. No contexto do terço apical do canal radicular, é de salientar que a agulha de ponta aberta e o polietileno Irriflex com dupla abertura lateral, demonstraram uma eficácia significativamente superior na limpeza do tecido em comparação com as agulhas de ponta fechada, com saída lateral ou dupla lateral (28) e que a sua eficiência é comparada com a Irriflex. Portanto, é de salientar que novos estudos devem ser feitos para comprovar se, de facto, esta associação é benéfica em termos de remoção de resíduos.

Após a irrigação com as diferentes agulhas, há uma diminuição significativa do tecido em pelo menos metade dos casos em que foram utilizadas as agulhas de ponta fechada e em quase um terço dos casos em que foi utilizada a agulha de ponta aberta, ou a agulha Irriflex, o tecido ainda estava presente no terço apical. No contexto do

terço apical do canal radicular, é de salientar que a agulha de ponta aberta e o polietileno IrriFlex com dupla abertura lateral, demonstraram uma eficácia significativamente superior na limpeza do tecido em comparação com as agulhas de ponta fechada, com saída lateral ou dupla lateral (21,28,31,47)

Após a irrigação com as diferentes agulhas, há uma diminuição significativa do tecido em pelo menos metade dos casos em que foram utilizadas as agulhas de ponta fechada e em quase um terço dos casos em que foi utilizada a agulha de ponta aberta, ou a agulha IrriFlex, o tecido ainda estava presente no terço apical. No contexto do terço apical do canal radicular, é de salientar que a agulha de ponta aberta e o polietileno IrriFlex com dupla abertura lateral, demonstraram uma eficácia significativamente superior na limpeza do tecido em comparação com as agulhas de ponta fechada, com saída lateral ou dupla lateral (26,48)

Contudo, a utilização de hidrogéis para simular conteúdos intracanaais apresenta vantagens e limitações. Os hidrogéis oferecem um meio consistente e reproduzível que imita as propriedades físicas dos tecidos moles, permitindo condições experimentais controladas e facilitando as comparações quantitativas. A sua capacidade de serem visualizados e processados em *software* de imagem torna-os particularmente adequados para avaliar a remoção de tecido.

No entanto, os hidrogéis não apresentam a complexidade biológica do tecido pulpar real, como variações na densidade do tecido, vascularização e biofilmes bacterianos, fatores críticos em cenários clínicos. Embora os hidrogéis forneçam informações valiosas durante a irrigação, apresentam também limitações ao extrapolar os resultados para tratamentos endodônticos da realidade clínica (49).

Neste estudo, um aspeto crítico foi utilizar dez dentes naturais com igual anatomia, que foram digitalizados através de micro-TC e replicados, cada um para produzir 30 modelos de resina 3D. Esta abordagem, garantiu que todos os grupos experimentais incluíssem as dez anatomias idênticas, minimizando a variabilidade dentro e entre grupos, ao mesmo tempo que refletia a morfologia do canal radicular encontrada na prática clínica.

A utilização de réplicas de resina em vez de dentes naturais pode afetar a difusão dos irrigantes e a remoção de tecido de forma diferente. Além disso, o operador controlava manualmente o caudal do irrigante, em vez de o padronizar com um dispositivo mecânico ou uma bomba, o que pode introduzir variabilidade. Assim, esta abordagem reflete a realidade clínica, onde a irrigação é normalmente realizada pelo clínico, tornando as descobertas mais aplicáveis à prática. Como se trata de um estudo *in vitro*, é necessário cuidado ao extrapolar estes estudos para a prática clínica (28).

Em conclusão, a extensão da extrusão depende do sistema de irrigação. A irrigação positiva com seringa e agulha entalhada, resulta num maior volume de extrusão e a agulha fechada Irriflex de polietileno flexível, com dupla ventilação lateral associado ao sistema de irrigação negativa EndoVac, resulta num menor volume de extrusão apical do irrigante.

Os resultados deste estudo *in vitro* demonstram que, tanto o tamanho da preparação apical quanto o método de irrigação e entrega de NaOCl no terço apical, desempenham um papel importante na quantidade de extrusão nos tecidos apicais. A hipótese nula foi rejeitada. A menor frequência de extrusão ocorreu com a agulha Irriflex associada ao sistema EndoVac num tamanho de preparação apical de 30.09. Embora uma vantagem da irrigação por agulha seja que ela fornece fácil controlo da profundidade da agulha no canal, bem como do volume de irrigante administrado, este estudo verificou que a irrigação com agulha convencional resultou em maior frequência e extensão de extrusão do que a associação de uma agulha convencional com um sistema de irrigação negativo EndoVac. No entanto, deve-se notar que a extrusão do irrigante é maior a partir de agulhas de ponta aberta, como as usadas neste estudo, em comparação com agulhas com um design de agulha de ponta fechada(46).

Todos os protocolos de irrigação avaliados proporcionaram limpeza do canal radicular e pequena extrusão apical da solução irrigadora (50).

Esta investigação traz resultados importantes, que confirmam informações já presentes na literatura e traz novas informações acerca de dois sistemas distintos, mas que associados, trouxeram novos resultados.

Através da CBCT, foi possível detetar o volume e a densidade da extrusão apical. Desta forma, conseguimos analisar a agulha que menor extrusão apical provoca. Assim, a análise realizada baseia-se no volume total de extrusão, sem separação qualitativa ou quantitativa entre os elementos. Esta limitação deve ser considerada na interpretação dos resultados, sendo uma oportunidade para estudos futuros que utilizem métodos complementares, como a pesagem direta ou a análise química do material estruído, capazes de diferenciar com maior precisão os constituintes da extrusão apical.

Outra possível limitação deste trabalho é a complexa anatomia do sistema de canal radicular, o que dificulta a limpeza completa das paredes superficiais do canal radicular. Outros estudos *in vitro* e *in vivo* são necessários para validar estes resultados obtidos, para que os protocolos testados possam ajudar o clínico a alcançar o sucesso no tratamento endodôntico.

V.CONCLUSÕES

Em suma, a extensão da extrusão depende do sistema de irrigação. A irrigação positiva com seringa e agulha entalhada, resultou num maior volume de extrusão e a agulha fechada IrriFlex, de polietileno flexível, com dupla ventilação lateral, associada ao sistema de irrigação negativa EndoVac, apresentou num menor volume de extrusão apical do irrigante.

Este estudo avaliou a influência do tipo de agulha de irrigação, curvatura do canal radicular (primeiro molar mandibular) e diâmetro apical final, sobre a extrusão de detritos e solução irrigadora, durante o preparo físico-químico do canal radicular.

Os resultados deste estudo *in vitro* demonstram que o tipo de agulha na preparação apical e o método de ativação e entrega de NaOCl, no terço apical, desempenham um papel importante na quantidade de extrusão nos tecidos apicais. Concluiu-se que, em volume, no canal D, o grupo (A) apresenta os resultados mais elevados ($0,251 \pm 0,269 \text{ cm}^3$) e o grupo (C) os mais baixos ($0,020 \pm 0,031 \text{ cm}^3$), sendo, por isso, as diferenças observadas estatisticamente significativas; nas áreas coronal, sagital, axial e média, os resultados são, em termos médios e medianos, mais elevados no grupo

(A) e (B) e sempre inferiores no grupo (C), mas sem diferenças estatisticamente significativas em qualquer área. No canal MV/ML, os resultados para o volume são, em termos médios, mais elevados no grupo (A) ($0,143 \pm 0,224 \text{ cm}^3$), seguindo-se o grupo (B) ($0,018 \pm 0,014 \text{ cm}^3$) e, por fim, o grupo (C) ($0,016 \pm 0,016 \text{ cm}^3$); nas áreas coronal, sagital, axial e média, verificou-se que o grupo (B) apresenta neste canal valores médios e medianos mais elevados, seguindo-se o grupo (A) e, por fim, o grupo (C).

A menor frequência de extrusão ocorreu com a agulha IrriFlex associada ao sistema EndoVac, num tamanho de preparação apical de 30,09. Embora uma vantagem da irrigação por agulha seja que ela fornece fácil controlo da profundidade da agulha no canal, bem como do volume de irrigante administrado, este estudo descobriu que a irrigação com agulha convencional resultou em maior frequência e extensão de extrusão do que a associação de uma agulha convencional com um sistema de irrigação por pressão negativa Endovac. No entanto, deve-se notar que a extrusão do irrigante é maior a partir de agulhas de ponta aberta, como usadas neste estudo, em comparação com agulhas com um design de agulha de ponta fechada, como verificado e também usadas neste estudo. Verificou-se também que os canais Distais mais retos apresentaram maior extrusão apical em relação aos canais Mesio Vestibular/Mesio Lingual de curvatura leve a moderada.

Todos os protocolos de irrigação avaliados proporcionaram limpeza do canal radicular e uma pequena extrusão apical da solução irrigadora.

Esta investigação traz resultados importantes que confirmam informações já presentes na literatura e traz novas informações acerca de dois sistemas distintos, mas, que associados, trouxeram novos resultados.

De acordo com a metodologia usada e dentro das limitações do presente estudo, rejeitou-se a hipótese de nulidade na medida volume do canal Distal, pois verificaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Após realização do teste Mann-Whitney, concluiu-se que o Grupo (A) apresentava diferenças estatisticamente significativas em relação aos outros grupos. Já os Grupos (B) e (C) não apresentavam diferenças estatisticamente significativas entre eles. Estas evidências, assim como os

resultados do Grupo (C) mostrarem extravasamento de irrigante num número significativamente menor de amostras, vão de encontro com estudos anteriores.

VI.BIBLIOGRAFIA

1. Siqueira JF, Rôças IN. Present status and future directions: Microbiology of endodontic infections. *Int Endod J*. 2022;55:512-30.
2. Nair PNR. On the causes of persistent apical periodontitis: A review. *Int Endod J*. 2006;39:249-81.
3. Hong BY, Lee TK, Lim SM, Chang SW, Park J, Han SH, et al. Microbial analysis in primary and persistent endodontic infections by using pyrosequencing. *J Endod*. 2013 Sep;39(9):1136-40.
4. Gonçalves FP, Vieira-da-Motta O, Scelza Neto P, Samarão S, Tavares SJ de O, Seabra SH, et al. Exploring the potential of nitrofurantoin for infection control in regenerative endodontics: in vitro study. *J Endod*. 2024 Dec [cited 2025 Jul 9]. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0099239924006915>
5. Zhang C, Du J, Peng Z. Correlation between *Enterococcus faecalis* and persistent intraradicular infection compared with primary intraradicular infection: a systematic review. *J Endod*. 2015;41:1207-13.
6. Montellano AM, Schwartz SA, Beeson TJ. Contamination of tooth-colored mineral trioxide aggregate used as a root-end filling material: a bacterial leakage study. *J Endod*. 2006 May;32(5):452-5.
7. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod*. 2006 May;32(5):389-98.
8. Rodríguez-Figueroa C, McClanahan SB, Bowles WR. Spectrophotometric determination of irrigant extrusion using passive ultrasonic irrigation, endoactivator, or syringe irrigation. *J Endod*. 2014 Oct;40(10):1622-6.
9. Venkataram V, Gokhale ST, Kenchappa M, Nagarajappa R. Effectiveness of chamomile (*Matricaria recutita* L.), MTAD and sodium hypochlorite irrigants on smear layer. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2013 Aug;14(4):247-52.
10. Psimma Z, Boutsoukis C, Vasiliadis L, Kastrinakis E. A new method for real-time quantification of irrigant extrusion during root canal irrigation ex vivo. *Int Endod J*. 2013 Jul;46(7):619-31.
11. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation: literature review and case reports. *Int Endod J*. 2000 Mar;33(3):186-93.
12. Heling I, Chandler NP. Antimicrobial effect of irrigant combinations within dentinal tubules. *Int Endod J*. 1998 Jan;31(1):8-14.
13. Shih M, Marshall PJ, Rosen S. The bactericidal efficiency of sodium hypochlorite as an endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1970 Apr;29(4):613-9.
14. Di Spirito F, Pisano M, Caggiano M, Bhasin P, Lo Giudice R, Abdellatif D. Root canal cleaning after different irrigation techniques: an ex vivo analysis. *Medicina (Kaunas)*. 2022 Feb;58(2):1-14.
15. Vieira De Queiroz A, Batista De Faria-Junior N, Albuquerque R. Comparação da propriedade antimicrobiana da cloroheixidina e do hipoclorito de sódio como irrigantes endodônticos: revisão integrativa. *Rev Ciênc Plur*. 2022 Oct;8(3):1-17.
16. Mohammadi Z, Abbott PV. Antimicrobial substantivity of root canal irrigants and medicaments: a review. *Aust Endod J*. 2009 Aug;35(3):131-9.
17. Abusteit OE, Hosney S, ElSheshtawy AS, Zapata RO. Outcome of endodontic treatment through existing full coverage restorations: an endodontic practice case series. *J Endod*. 2022 Mar;48(3):388-95.
18. Guivarc'h M, Ordioni U, Ahmed HMA, Cohen S, Catherine JH, Bukiet F. Sodium hypochlorite accident: a systematic review. *J Endod*. 2017 Jan;43(1):16-24.

19. Baasch A, Campello AF, Rodrigues RCV, Alves FRF, Voigt DD, Mdala I, et al. Effects of the irrigation needle design on root canal disinfection and cleaning. *J Endod*. 2024 Oct; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.06.001>
20. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a computational fluid dynamics study. *Int Endod J*. 2009 Feb;42(2):144-55.
21. Nielsen BA, Baumgartner JC. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod*. 2007 May;33(5):611-5.
22. Romualdo PC, de Oliveira KMH, Nemezio MA, Küchler EC, Silva RAB, Nelson-Filho P, et al. Does apical negative pressure prevent the apical extrusion of debris and irrigant compared with conventional irrigation? A systematic review and meta-analysis. *Aust Endod J*. 2017 Dec;43(3):129-37.
23. Boutsoukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LWM. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod*. 2010 May;36(5):875-9.
24. Boutsoukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LWM. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod*. 2010 May;36(5):875-9.
25. Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J Endod*. 1995 Mar;21(3):141-4.
26. Silva PB, Krolow AM, Pilownic KJ, Casarin RP, Lima RKP, Leonardo RT, et al. Apical extrusion of debris and irrigants using different irrigation needles. *Braz Dent J*. 2016 Mar-Apr;27(2):192-5.
27. Vinothkumar TS, Kavitha S, Lakshminarayanan L, Gomathi NS, Kumar V. Influence of irrigating needle-tip designs in removing bacteria inoculated into instrumented root canals measured using single-tube luminometer. *J Endod*. 2007 Jun;33(6):746-8.
28. Baasch A, Ramírez-Muñoz A, Navarrete N, Navarro-Candel M, Koury-González JM, Esteves-Nieves O, et al. Influence of irrigation needle design on cleaning efficiency in 3D mandibular molar models. *Odontology*. 2025 Feb; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10266-025-01064-x>
29. Grazziotin Soares R, Dagnese C, Duarte Irala LED, Salles AA, Limongi O. Injeção acidental de hipoclorito de sódio na região periapical durante tratamento endodôntico: relato de caso. *RSBO*. 2007 May;4(1):17-21.
30. Jamleh A, Fukumoto Y, Takatomo Y, Kobayashi C, Suda H, Adorno CG. A comparison between two negative pressure irrigation techniques in simulated immature tooth: an ex vivo study. *Clin Oral Investig*. 2016 Jan;20(1):125-31.
31. Velmurugan N, Sooriaprakas C, Jain P. Apical extrusion of irrigants in immature permanent teeth by using EndoVac and needle irrigation: an in vitro study. *J Dent Tehran Univ Med Sci*. 2014;11(3):1-8.
32. Kiarudi AH, Eghbal MJ, Safi Y, Aghdasi MM, Fazlyab M. The applications of cone-beam computed tomography in endodontics: a review of literature. *Iran Endod J*. 2015 Jan;10(1):16-25.
33. Torres FFE, Bosso-Martelo R, Espir CG, Cirelli JA, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M. Evaluation of physicochemical properties of root-end filling materials using conventional and micro-CT tests. *J Appl Oral Sci*. 2017 Jul-Aug;25(4):374-80.

34. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1971 Aug;32(2):271-5.
35. Altundasar E, Nagas E, Uyanik O, Serper A. Debris and irrigant extrusion potential of 2 rotary systems and irrigation needles. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011 Oct;112(4):e31-5.
36. Card SJ, Sigurdsson A, Ørstavik D, Trope M. The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria. *J Endod*. 2002 Nov;28(11):779-83.
37. Lambrianidis T, Tosounidou E, Tzoanopoulou M. The effect of maintaining apical patency on periapical extrusion. *J Endod*. 2001 Nov;27(11):696-8.
38. Kolarkodi SH. The importance of cone-beam computed tomography in endodontic therapy: a review. *Saudi Dent J*. 2023 Nov-Dec;35(6):780-4.
39. Psimma Z, Boutsoukis C, Kastrinakis E, Vasiliadis L. Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. *J Endod*. 2013 Apr;39(4):521-4.
40. Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M. Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems. *J Endod*. 2006 May;32(5):417-20.
41. Fornari VJ, Silva-Sousa YTC, Vanni JR, Pécora JD, Versiani MA, Sousa-Neto MD. Histological evaluation of the effectiveness of increased apical enlargement for cleaning the apical third of curved canals. *Int Endod J*. 2010 Nov;43(11):988-94.
42. Mitchell RP, Baumgartner JC, Sedgley CM. Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *J Endod*. 2011 Dec;37(12):1677-81.
43. Lambrianidis T, Tosounidou E, Tzoanopoulou M. The effect of maintaining apical patency on periapical extrusion. *J Endod*. 2001 Nov;27(11):696-8.
44. Brown DC, Moore BK, Brown CE Jr, Newton CW. An in vitro study of apical extrusion of sodium hypochlorite during endodontic canal preparation. *J Endod*. 1995 Dec;21(12):587-91.
45. George R, Walsh LJ. Apical extrusion of root canal irrigants when using Er:YAG and Er,Cr:YSGG lasers with optical fibers: an in vitro dye study. *J Endod*. 2008 Jun;34(6):706-8.
46. Mitchell RP, Baumgartner JC, Sedgley CM. Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *J Endod*. 2011 Dec;37(12):1677-81.
47. Tosco V, Monterubbianesi R, Aranguren J, Memè L, Putignano A, Orsini G. Evaluation of the efficacy of different irrigation systems on the removal of root canal smear layer: a scanning electron microscopic study. *Appl Sci*. 2023 Jan;13(1):1-12.
48. Uzunoglu E, Turker SA, Görduysus M. Effects of different rotary files combined with different irrigation needles on apically extruded debris. *Braz Dent J*. 2015 Aug;26(4):347-50.
49. Siqueira JF, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod*. 2008 Nov;34(11):1291-301.
50. Tanomaru-Filho M, Loiola LE, Miano LM, Chávez-Andrade GM, Guerreiro-Tanomaru JM. Influência do diâmetro foraminal do canal radicular, do tipo e da penetração de agulha, e do fluxo da solução irrigadora na limpeza e na extrusão apical. *Rev Odontol UNESP*. 2014 Apr;43(2):91-7.