

# **INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

## **MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA**

### **CAPACIDADE DE SELAMENTO ÁPICAL EM ENDODONTIA: ESTUDO IN VITRO DE MATERIAIS OBTURADORES EM DENTES COM ÁPEX ABERTO**

Trabalho submetido por  
**Rebeca Sampaio Moreira**  
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

**outubro de 2025**



# **INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

## **MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA**

### **CAPACIDADE DE SELAMENTO ÁPICAL EM ENDODONTIA: ESTUDO IN VITRO DE MATERIAIS OBTURADORES EM DENTES COM ÁPEX ABERTO**

Trabalho submetido por  
**Rebeca Sampaio Moreira**  
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por  
**Professor Doutor Diego António Velásquez González**

**outubro de 2025**



## **Dedicatória:**

Aos meus pais, para vocês e por vocês sempre.



## **Agradecimentos especiais**

Sou grata a Deus pela oportunidade de perseguir os meus sonhos e por todas as bênçãos concedidas.



## **Agradecimentos**

Agradeço ao Prof. Doutor Diego Velázquez González por todo o apoio, compreensão e orientação que me ofereceu ao longo deste percurso. Obrigada por sempre me oferecer palavras de incentivo.

Ao Professor Luís Proença, sou grata pela colaboração na organização da análise estatística deste trabalho, assim como pela paciência e disponibilidade.

Expresso também o meu agradecimento ao Instituto Universitário Egas Moniz pela generosidade em disponibilizar instalações e equipamentos essenciais para a realização deste estudo.

Aos meus pais, Luis Alberto e Luiza de Marillac, e aos meus irmãos Gabriel, Felipe e Thais, por me apoiarem incondicionalmente em todos os momentos. Agradeço por acreditarem em mim, me incentivarem a seguir o caminho do mestrado e me oferecerem todo o suporte necessário para que eu persistisse na realização dos meus sonhos.

Às minhas queridas avós Francisca e Margarida (in memoriam), por olharem por mim lá de cima e me protegerem. Sei que, de alguma forma, continuam presentes, iluminando meus passos e me guiando com amor.

À minha tia Elizabeth e às minhas primas Ingrid e Andrea, por sempre demonstrarem carinho, incentivo e estarem presentes, especialmente nos momentos mais difíceis. O apoio de vocês foi essencial ao longo dessa jornada.

Aos meus queridos amigos do Brasil — Georgia, Gabriel, Mariana, Mahara, Melissa, Victória e Sara — pela amizade sincera construída ao longo dos anos. Agradeço por compartilharem comigo tantos momentos, risadas, aprendizados e por fazerem parte da minha vida de forma tão especial.

À Bárbara, uma amizade genuína que a Egas Moniz e Portugal me proporcionaram. Sou grata por todos os momentos vividos na clínica, pelas risadas compartilhadas e pela parceria constante. Sua amizade é um verdadeiro presente, e espero levá-la comigo por toda a vida.

Ao meu querido G20, com quem iniciei a jornada universitária, ao lado de vocês superei desafios, comemorei vitórias e vivi momentos que guardarei para sempre na memória.



## **Resumo**

**Objetivo:** O presente estudo *in vitro* teve como objetivo avaliar a capacidade de selamento apical de dois cimentos endodônticos com composições distintas, um resinoso (AH Plus®) e um biocerâmico (BioRoot™ RCS), em dentes com ápice artificialmente aberto.

**Materiais e Métodos:** A amostra foi composta por cinquenta dentes humanos monorradiculares, divididos aleatoriamente em dois grupos experimentais (n = 40) e dois grupos controle (n = 10). O Grupo 1 (G1; n = 20) foi instrumentado até 0,7 mm com Peeso #1, e o Grupo 2 (G2; n = 20) até 0,9 mm com Peeso #2, simulando condições de ápice aberto. Cada grupo foi subdividido conforme o cimento obturador utilizado — S1 (AH Plus®) e S2 (BioRoot™ RCS) —, originando quatro subgrupos experimentais: G1S1, G1S2, G2S1 e G2S2 (n = 10). Todos os espécimes foram obturados pela técnica de cone único. Para avaliar a selamento apical, realizou-se teste de infiltração apical com corante azul de metileno a 1%. Após a imersão, as raízes foram seccionadas transversalmente em micrótomo e analisadas por microscopia ótica, registrando-se a infiltração apical em milímetros. Os dados foram tratados estatisticamente no programa SPSS (IBM Corp., EUA), utilizando-se o teste ANOVA fatorial, com nível de significância de  $p < 0,05$ .

**Resultados:** A análise estatística revelou diferença significativa entre os grupos experimentais ( $p = 0,008$ ), indicando que o aumento do diâmetro apical está associado a maior infiltração apical. Todavia, não se observaram diferenças significativas entre os tipos de cimento ( $p = 0,085$ ), demonstrando desempenho semelhante entre o AH Plus® e o BioRoot™ RCS. Apenas a comparação entre os subgrupos G1S1 e G2S2 apresentou diferença estatisticamente significativa.

**Conclusão:** O diâmetro apical mostrou-se o principal fator de influência na infiltração, enquanto o tipo de cimento não afetou significativamente o selamento quando avaliado isoladamente.

**Palavras-chave:** Infiltração apical; Cimentos resinosos; Cimentos biocerâmicos; Ápice aberto





## **Abstract**

**Objective:** This *in vitro* study aimed to evaluate the apical sealing ability of two endodontic sealers with distinct compositions — a resin-based sealer (AH Plus®) and a bioceramic sealer (BioRoot™ RCS) — in teeth with artificially opened apices.

**Materials and Methods:** The sample consisted of fifty extracted human single-rooted teeth, randomly divided into two experimental groups (n = 40) and two control groups (n = 10). Group 1 (G1; n = 20) was instrumented up to 0.7 mm using Peeso #1, and Group 2 (G2; n = 20) up to 0.9 mm using Peeso #2, simulating open-apex conditions. Each group was subdivided according to the sealer used — S1 (AH Plus®) and S2 (BioRoot™ RCS) — resulting in four experimental subgroups: G1S1, G1S2, G2S1, and G2S2 (n = 10). All specimens were obturated using the single-cone technique. To assess apical sealing, a 1% methylene blue dye penetration test was performed. After immersion, the roots were transversely sectioned with a microtome and analyzed under optical microscopy to measure apical leakage in millimeters. Data were statistically analyzed using SPSS software (IBM Corp., USA) with factorial ANOVA, considering a significance level of  $p < 0.05$ .

**Results:** The statistical analysis revealed a significant difference between the experimental groups ( $p = 0.008$ ), indicating that increasing the apical diameter leads to greater dye penetration. However, no significant differences were found between the two sealers ( $p = 0.085$ ), demonstrating comparable sealing performance for AH Plus® and BioRoot™ RCS. Only the comparison between subgroups G1S1 (AH Plus®/0.70 mm) and G2S2 (BioRoot™ RCS/0.90 mm) showed a statistically significant difference.

**Conclusion:** The apical diameter proved to be the main factor influencing apical leakage, while the sealer type alone did not significantly affect the sealing ability.

**Keywords:** Apical Infiltration; Bioceramic sealer; Resin sealer; Open Apex

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1. Etiologia da Patologia Pulpar .....	14
1.3. Diagnóstico .....	17
1.4. Tratamento Endodôntico.....	19
1.5. Acesso Endodôntico .....	20
1.6. Instrumentação e Desinfecção .....	20
1.6.1. NaOCl.....	21
1.6.2. EDTA .....	23
1.6.3. Clorohexidina (CHX) .....	24
1.7. Obturação.....	25
1.7.1. Aspectos Gerais.....	25
1.7.2. O Desafio da Obturação de Canais com Apex Aberto .....	27
1.7.3. Cimentos Resinosos.....	29
1.7.4. AH Plus®.....	31
1.7.5. Cimentos Biocerâmicos .....	32
1.7.6. BioRoot™ RCS.....	33
1.8. JUSTIFICAÇÃO .....	34
<b>2. OBJETIVOS E HIPÓTESES</b> .....	37
2.1. Objetivo geral.....	37
2.2. Objetivos específicos.....	37
2.3. Hipóteses propostas .....	37
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	41
1. Materiais .....	41
2. Aparatologia: .....	42
3. Metodologia.....	42
3.1. Considerações éticas.....	42
3.2. Descrição da amostra.....	42
3.3. Critérios de inclusão .....	43
4. Padronização dos espécimes .....	43
5. Instrumentação.....	45
6. Obturação .....	50
7. Infiltração apical de corante.....	55
8. Secção dos espécimes.....	58
9. Análise e Quantificação da Infiltração Apical .....	59
<b>4. RESULTADOS</b> .....	63
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	67
5.1. Discussão de Materiais e Métodos .....	67
5.2. Discussão de Resultados .....	70

5.3.Limitações.....	73
5.4.Perspetivas e Estudos Futuros.....	74
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>97</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mesa preparada para seccionar os dentes com peça de mão de baixa rotação NSK EX203C, disco diamantado nº943-104, pinça clínica, brocas Peeso e soro fisiológico.....	45
Figura 2 - Processo de seleção de espécimes: a) Vista vestibular inicial; b) Vista proximal inicial; c) Dente marcado a 14mm na extremidade coronária e apical; d) Dente seccionado em vista vestibular; e) Dente seccionado em vista proximal; f) Radiografia vestibular inicial; g) Radiografia proximal inicial.....	45
Figura 3- Lima VDW Reciproc R40 no espécime.....	46
Figura 4 - Mesa preparada para instrumentação do canal radicular com limas tipo K, EDTA e motor E-Connect Pro .....	47
Figura 5- a) Peeso #70 no espécime; b) e c) Vistas do preparo apical.....	48
Figura 6 - a) Peeso #90 no espécime; b) e c) Vistas do preparo apical.....	48
Figura 7 - Padronização dos espécimes.....	49
Figura 8 - a) Radiografia vestibular pós instrumentação com Peeso #70 (Número 1); - b) Radiografia vestibular pós instrumentação com Peeso #90 (Número 2).....	49
Figura 9 - Mesa preparada para obturação dos espécimes com fotopolimerizador, lamparina, placa de vidro, EDTA, cones de papel, condensador, resina composta e o cimento BioRoot™ RCS..	50
Figura 10- Cimento endodôntico BioRoot™ RCS .....	51
Figura 11 - Cimento endodôntico AH Plus® Jet .....	51
Figura 12 - Manipulação do cimento endodôntico BioRoot™ RCS .....	52
Figura 13 - Manipulação do cimento endodôntico AH Plus®: a) pasta A (âmbar) e de pasta B (branca) de material de selamento do canal radicular AH Plus; b) Cimento em consistência homogênea .....	52
Figura 14 - a) Vista coronal da obturação com cone de guta-percha e cimento; b) Vista apical da obturação com cone de guta-percha e cimento .....	53
Figura 15 - a) Vista coronária do espécime; b) Vista do selamento coronário com Resina flúida Tetric Evoflow™ .....	54
Figura 16 - Controlos Radiográficos em vista vestibular:a) Grupo G1S1; b) Grupo G1S2; c) Grupo G2S1; d) Grupo G2S2; e) Controlo Positivo; f) Controlo Negativo.....	54
Figura 17 - Espécimes armazenados em estufa incubadora .....	55
Figura 18 - Preparo dos espécimes para adição do corante.....	56
Figura 19- Azul de Metileno 1% utilizado para infiltração.....	56
Figura 20 - a) Inserção da raiz no tubo, com o ápice orientado para a extremidade superior; b) Após adição do corante, observando-se a total submersão da raiz na solução .....	57
Figura 21 - a) Espécime após imersão em azul de metileno em vistas; b) Vista apical; c) Vista coronal.....	57

Figura 22 - a) Espécime após remoção do verniz com curetas periodontais; b) Vista apical; c) Vista coronal.....	58
Figura 23 - Espécime incorporado em cera adesiva: a) Vista proximal; b) Vista Vestibular .....	58
Figura 24 - Secção do espécime realizada no micrótomo: a) Perspectiva de orientação do corte; b) Configurações utilizadas .....	59
Figura 25 - Resultado da visualização em corte transversal das raízes .....	60
Figura 26 - Visualização microscópica de infiltração positiva nos espécimes .....	61
Figura 27 - Visualização microscópica de infiltração negativa nos espécimes .....	61
Figura 28 - Controlo Positivo: Espécime nº 17; Espécime nº 23; Espécime nº 35; Espécime nº 43; Espécime nº 71; .....	98
Figura 29- Controlo Negativo: Espécime nº 26; Espécime nº 29; Espécime nº 51; Espécime nº 72; Espécime nº 79; .....	99
Figura 30 - Grupo G1S1: Espécime nº 6; Espécime nº 7; Espécime nº 15; Espécime nº 33; Espécime nº 42; Espécime nº 47; Espécime nº 61; Espécime nº 64; Espécime nº 66; Espécime nº 80; .....	101
Figura 31 - Grupo G1S2: Espécime nº 2; Espécime nº 16; Espécime nº 25; Espécime nº 34; Espécime nº 36; Espécime nº 37; Espécime nº 41; Espécime nº 57; Espécime nº 62; Espécime nº 69; .....	103
Figura 32 - Grupo G2S1: Espécime nº 19; Espécime nº 20; Espécime nº 38; Espécime nº 45; Espécime nº 46; Espécime nº 52; Espécime nº 59; Espécime nº 65; Espécime nº 70; Espécime nº 78; .....	104
Figura 33 - Grupo G2S1: Espécime nº 5; Espécime nº 9; Espécime nº 10; Espécime nº 13; Espécime nº 21; Espécime nº 24; Espécime nº 50; Espécime nº 53; Espécime nº 63; Espécime nº 74; .....	106

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos e subgrupos experimentais iniciais conforme conforme o diâmetro apical e o tipo de material de obturação utilizado .....	44
Tabela 2 - Comparação das médias de infiltração apical entre os grupos experimentais G1 e G2 .....	63
Tabela 3 - Comparação das médias de infiltração apical entre os subgrupos S1 e S2 (tipos de cimento) .....	64
Tabela 4 - Resultados comparativos das médias de infiltração apical dos subgrupos a estudo (mm=milímetros).....	66
Tabela 5 - A análise de variância revelou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos (p = 0,011).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabela 6 - Valores de significância relativos aos valores médios de infiltração apical entre subgrupos .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabela 7 - Valores de significância relativos aos valores médios de infiltração apical entre os subgrupos S1 e S2, independentemente do tipo de cimento endodôntico.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Boxplot indicador da mediana e distribuição da amostra de cada grupo.....64

## **Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

AAE – Associação Americana de Endodontia (American Association of Endodontists)

ESE - Sociedade Europeia de Endodontia (European Society of Endodontology)

EDTA – Ácido etilendiamino tetra-acético (Ethylenediaminetetraacetic acid)

CBCT - Tomografia Computorizada de Feixe Cónico

NaOCl – Hipoclorito de sódio

CHX – Clorohexidina

MTA - Agregado Trióxido Mineral

IL - Interleucinas

IL-1 $\beta$  - Interleucina 1 beta

IL-6 - Interleucina 6

TNF- $\alpha$  - Fator de necrose tumoral alfa

PCA - para-cloroanilina

NaCP - Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo

RVG - Radiovisiografia digital (*Digital Radiography*)

Mm - Milímetro



## 1. INTRODUÇÃO

A Endodontia é uma especialidade da Medicina Dentária que se ocupa do estudo, diagnóstico e tratamento das doenças que afetam a polpa dentária e os tecidos que a rodeiam (Dowd, 2007).

Segundo a definição da Associação Americana de Endodontia (AAE), esta área concentra-se na morfologia, fisiologia e nas alterações patológicas da polpa dos dentes humanos e dos tecidos perirradiculares. A sua prática integra componentes científicas básicas e clínicas, abrangendo temas como a biologia pulpar, as causas e diagnóstico das patologias, bem como a sua prevenção e tratamento, incluindo as alterações dos tecidos perirradiculares relacionadas (AAE, 2020).

Os objetivos clínicos e biológicos da Endodontia são vastos e visam, essencialmente (Ng et al., 2007):

- a) Preservar a integridade dos tecidos periodontais e prevenir ou tratar lesões periapicais;
- b) Assegurar a desinfeção completa do sistema de canais radiculares, através de instrumentação e irrigação eficazes, seguida de um selamento hermético apical, lateral e coronário que previna a reinfeção e impeça a migração de microrganismos ou dos seus metabolitos para os tecidos periapicais.
- c) Estimular o processo de cicatrização apical e periapical, que pode incluir a formação de tecido mineralizado ou fibroso. A seleção atual de materiais endodônticos valoriza, sobretudo, as suas características biológicas e bioatividade, pelas quais contribuem diretamente para a regeneração dos tecidos periapicais.

A importância da Endodontia na preservação da saúde oral e manutenção dos dentes naturais é inegável, pois permite a conservação de dentes que, de outra forma, seriam irremediavelmente perdidos. O endodontista não é apenas um técnico, mas um promotor de saúde bucal, preocupado em prevenir ou eliminar a doença na região perirradicular. A abordagem atual na endodontia moderna é minimamente invasiva, buscando a máxima preservação da estrutura dental (Gluskin et al., 2014).

## **1.1.Etiologia da Patologia Pulpar**

A etiologia da patologia pulpar está intrinsecamente ligada a múltiplos fatores agressivos que podem comprometer a integridade e a função da polpa dentária. Entre esses, a lesão de cárie dentária constitui a principal causa de inflamação pulpar, sendo considerada uma doença infecciosa crônica provocada pela atividade de microrganismos presentes no biofilme oral. Estes, ao metabolizarem carboidratos fermentáveis, produzem ácidos que desmineralizam o esmalte e a dentina, permitindo a sua penetração progressiva em direção à câmara pulpar. Este processo induz uma resposta inflamatória pulpar que, se não for interrompida, evolui para necrose e infecção periapical (Duncan et al., 2023).

Além da cárie, outras agressões como traumas dentários têm um papel etiológico relevante, especialmente em dentes jovens e imaturos. Traumatismos como concussões, luxações ou fraturas coronárias podem comprometer o suprimento sanguíneo da polpa, resultando em necrose asséptica mesmo na ausência de contaminação bacteriana inicial. Nestes casos, a degeneração pulpar deve-se predominantemente a fenômenos isquêmicos e inflamatórios internos, exacerbados pela falta de regeneração adequada dos tecidos vasculares pulpares (Duncan et al., 2023).

Os fatores iatrogênicos também contribuem significativamente para a patologia pulpar. Procedimentos clínicos invasivos, como o preparo cavitário profundo, a utilização de materiais restauradores irritantes ou técnicas operatórias inadequadas, podem induzir microtraumatismos ou stress térmico na polpa. Por exemplo, o calor gerado por brocas de alta rotação sem irrigação adequada ou a exposição da dentina sem proteção podem resultar em inflamação pulpar crônica ou aguda. Adicionalmente, falhas de selamento marginal em restaurações permitem a infiltração bacteriana, reativando o processo inflamatório (Bergenholtz, 1991; Lau et al., 2023).

As agressões químicas e térmicas provenientes de substâncias utilizadas nos procedimentos restauradores ou ortodônticos como adesivos, cimentos, ácidos e resinas também são capazes de provocar reações inflamatórias pulpares, particularmente quando não são utilizados sistemas de proteção pulpar eficazes. Estas substâncias podem difundir-se através da dentina e atingir os tecidos pulpares, desencadeando fenômenos de irritação, degeneração celular e até necrose, dependendo da sua composição, toxicidade e tempo de contacto (Park et al., 2015).

## **1.2.Fisiopatologia Pulpar**

A polpa dentária saudável é um tecido conjuntivo especializado, localizado no interior dos dentes, que apresenta uma rica vascularização, inervação e presença de células específicas como os odontoblastos, fibroblastos, células inflamatórias e células estaminais. Estas estruturas conferem-lhe múltiplas funções fisiológicas, incluindo a formação de dentina, nutrição do complexo dentinopulpar, percepção sensorial (principalmente dor) e defesa imunitária. A disposição do plexo de Raschkow, responsável pela inervação sensitiva, e a rede vascular terminal tornam a polpa particularmente sensível a estímulos e suscetível a alterações patológicas (Galler et al., 2021).

Quando sujeita a agressões, sejam elas biológicas, físicas ou químicas, a polpa desencadeia uma resposta inflamatória e imunitária que visa conter o dano. A agressão biológica mais comum provém da infiltração de microrganismos associados à lesões de cárie dentária, os quais induzem a ativação de células imunitárias e a libertação de mediadores inflamatórios como interleucinas (IL), prostaglandinas e óxido nítrico. A resposta inicial é mediada pela imunidade inata, mas pode evoluir para uma resposta adquirida em situações persistentes. A agressão física, como o trauma, e a química, proveniente de materiais restauradores irritantes ou preparos cavitários agressivos, também provocam alterações vasculares e celulares significativas, como edema, dor e destruição de tecidos (Galler et al., 2021).

A pulpíte é uma inflamação da polpa dentária que contém vasos sanguíneos, nervos e células de defesa, localizado no interior da câmara pulpar e dos canais radiculares. Pode ser classificada, segundo a AAE, como reversível ou irreversível, sendo que ambas podem apresentar-se de forma sintomática ou assintomática. A pulpíte reversível caracteriza-se por uma inflamação leve e localizada da polpa, geralmente desencadeada por estímulos térmicos ou químicos, produzindo uma dor transitória que desaparece com a remoção do estímulo. Clinicamente, a resposta ao teste de sensibilidade é positiva e de curta duração, indicando viabilidade pulpar. Por outro lado, a pulpíte irreversível envolve uma inflamação extensa e persistente, com dor espontânea, prolongada ou de difícil localização, podendo ser agravada pelo calor e aliviada pelo frio. Quando sintomática, manifesta-se por dor aguda e contínua; quando assintomática, o processo inflamatório já

é irreversível, mas o paciente não apresenta sintomatologia dolorosa, sendo o diagnóstico realizado com base em testes de sensibilidade e achados radiográficos (AAE, 2020).

A distinção entre as formas reversível e irreversível, bem como entre as variantes sintomática e assintomática, tem importância clínica determinante, uma vez que orienta a escolha do tratamento mais adequado. Enquanto a pulpite reversível pode beneficiar de terapias conservadoras destinadas à preservação da vitalidade pulpar, a pulpite irreversível requer intervenção endodôntica para prevenir a evolução para necrose pulpar e o desenvolvimento de lesões periapicais (AAE, 2025).

A anatomia e a vascularização da polpa influenciam decisivamente a sua vulnerabilidade a processos patológicos. O suprimento sanguíneo terminal impede a existência de colateralização eficaz, tornando a polpa altamente sensível a alterações de pressão e a fenômenos de oclusão vascular. A incapacidade de drenagem adequada do exsudado inflamatório favorece a rápida progressão da inflamação para necrose, sobretudo em ambientes onde o fluxo linfático e a perfusão são comprometidos (Berggreen et al., 2020).

A resposta imune pulpar inicia-se com a ativação da imunidade inata, através do recrutamento de neutrófilos, macrófagos e células dendríticas. Estas células produzem citocinas pró-inflamatórias (como IL-1 $\beta$ , IL-6, TNF- $\alpha$ ) que amplificam a resposta local. Se o estímulo persistir, verifica-se a ativação da imunidade adquirida, com o envolvimento de linfócitos T e B. Esta resposta, embora protetora, pode contribuir para a destruição tecidular se desregulada ou mantida por longos períodos (Galler et al., 2021).

Durante os estágios avançados de inflamação ou em casos de degeneração crônica, a polpa pode apresentar diversas alterações estruturais e funcionais. Entre estas, destaca-se a necrose tecidular, a formação de microabscessos e a destruição dos odontoblastos. Em situações de inflamação crônica, pode ocorrer a formação de dentina terciária ou a calcificação do tecido pulpar, alterando a morfologia interna do canal radicular. Estas alterações comprometem a função da polpa e, em muitos casos, tornam inevitável o tratamento endodôntico (Duncan et al., 2023).

### 1.3.Diagnóstico

O diagnóstico pulpar clínico baseia-se numa abordagem integrada que combina dados obtidos na anamnese (incluindo a caracterização da dor e o seu historial), no exame clínico objetivo (inspeção, palpação, percussão e testes de oclusão) e nos testes específicos de avaliação pulpar (testes de sensibilidade pulpar térmicos e elétrico), complementados por exames imagiológicos. Esta combinação permite a classificação do estado pulpar em categorias clínicas, como polpa normal, pulpite reversível ou irreversível — que podem ser sintomáticas ou assintomáticas — e necrose pulpar (Levin et al., 2009).

Para além da avaliação pulpar, o diagnóstico endodôntico deve considerar de forma sistemática o estado periapical. Segundo a AAE e Sociedade Europeia de Endodontia (ESE), os diagnósticos periapicais podem ser classificados como: tecido apical normal, hipersensibilidade apical, periodontite apical localizada sintomática, periodontite apical localizada assintomática, periodontite apical com fístula, abscesso apical com envolvimento sistémico, tecido apical cicatrizado e condição apical inconclusiva. A incorporação destes critérios periapicais complementa a avaliação pulpar, permitindo uma análise mais rigorosa da condição clínica do dente. A utilização combinada de múltiplos métodos diagnósticos, incluindo a avaliação periapical, incrementa significativamente a fiabilidade do diagnóstico endodôntico, reduzindo a probabilidade de interpretações erróneas quando comparada com a aplicação isolada de um único teste (AAE, 2025; ESSE, 2021).

Os testes de sensibilidade, como os de frio, calor e elétrico, avaliam indiretamente a vitalidade pulpar por meio da resposta das fibras nervosas sensoriais a estímulos. Em contraste, os métodos de avaliação de vitalidade, como a oximetria de pulso e o laser-Doppler, medem diretamente o fluxo sanguíneo intrapulpar, refletindo de forma mais fidedigna a condição fisiológica da polpa. Apesar de apresentarem maior precisão, estes métodos possuem limitações práticas que dificultam o seu uso na clínica diária, sendo predominantemente utilizados em investigação. Entre os principais inconvenientes destacam-se o elevado custo dos equipamentos, a complexidade técnica, o tempo necessário para a realização do exame, a sensibilidade a fatores externos, como movimento do paciente ou interferências ópticas, e a curva de aprendizagem acentuada,

que exige treino extensivo para aquisição de habilidade na calibração correta do aparelho, posicionamento do sensor, interpretação dos sinais e identificação de artefactos (Kasper et al., 2021).

Ainda assim, os testes de sensibilidade apresentam limitações, podendo gerar falsos-positivos (em casos de inflamação periodontal ou condução de estímulo para dentes adjacentes) ou falsos-negativos (em dentes recentemente traumatizados, calcificados ou sob efeito anestésico). No entanto, a aplicação de critérios bem definidos para a classificação clínica e histológica das condições pulpares tem demonstrado elevada concordância, sobretudo em dentes sem alterações patológicas ou acometidos por pulpite reversível. Esses achados sugerem que a categorização da polpa em normal, pulpite reversível ou pulpite irreversível é, na maioria das situações, capaz de orientar de forma eficaz a escolha da terapia endodôntica (Levin et al., 2009; Ricucci et al., 2014).

Em linha com uma perspectiva mais conservadora, Wolters et al. (2017) introduziram um novo sistema diagnóstico no âmbito da endodontia minimamente invasiva, questionando a validade da terminologia tradicional que distingue entre pulpite reversível e irreversível. Os autores defendem que, mesmo em casos convencionalmente diagnosticados como irreversíveis, pode existir tecido pulpar viável com potencial de cicatrização, o que sugere que a remoção completa da polpa nem sempre é necessária. Esta proposta enfatiza a importância de preservar ao máximo a vitalidade pulpar através de abordagens terapêuticas menos invasivas, como a pulpotomia, que permitem manter funções fisiológicas e imunológicas da polpa, reduzir a fragilidade estrutural do dente e, simultaneamente, diminuir custos e tempo de tratamento (Wolters et al., 2017).

As radiografias periapicais continuam a ser o método imagiológico de eleição para a avaliação inicial, permitindo identificar lesões cariosas profundas, alterações na lâmina dura e lesões periapicais. Em casos selecionados, a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) fornece informação tridimensional detalhada, essencial para a detecção de anatomias dentárias complexas, reabsorções, fraturas ou variações anatómicas que podem influenciar o diagnóstico e o planeamento terapêutico. Contudo, é reconhecido que alterações histopatológicas iniciais na polpa podem não ter expressão radiográfica, o que limita o valor da imagem como ferramenta diagnóstica isolada (Levin et al., 2009; Ricucci et al., 2014).

Diversos fatores podem comprometer a precisão dos métodos diagnósticos. Restaurações metálicas podem interferir nos testes elétricos, gerando respostas inconsistentes. Traumatismos prévios frequentemente conduzem a resultados falsamente negativos nos testes de sensibilidade devido a alterações temporárias na condução nervosa. Alterações sistêmicas, como neuropatias ou condições vasculares, bem como o uso de determinados medicamentos, podem igualmente modificar a resposta da polpa a estímulos. Além disso, a complexidade anatômica, como ocorre em dentes multirradiculares com estados pulpares distintos, pode dificultar a interpretação e levar a diagnósticos incorretos (Levin et al., 2009; Ricucci et al., 2014).

Um diagnóstico preciso é determinante para a definição da abordagem terapêutica mais adequada, seja a preservação da vitalidade pulpar por meio de terapêuticas conservadoras, como a pulpotomia ou pulpectomia parcial, ou a realização do tratamento endodôntico completo. Assim, a interpretação integrada de dados clínicos, testes funcionais e imagem é essencial para evitar tratamentos desnecessários ou insuficientes e para maximizar a taxa de sucesso a longo prazo (Mejère et al., 2012).

#### **1.4. Tratamento Endodôntico**

O tratamento endodôntico está indicado em retratamentos de canais previamente tratados sem sucesso, quando se pretende restabelecer a função e prevenir a progressão da infecção, em dentes que irão servir de suporte a reabilitações protéticas extensas, bem como em situações em que a preservação de elementos dentários com potencial restaurador adequado representa uma alternativa previsível à extração. Por outro lado, encontra-se contraindicado em dentes com comprometimento periodontal severo e prognóstico global desfavorável, em casos de fraturas radiculares extensas ou de perda estrutural irreparável, assim como sempre que não seja possível garantir condições técnicas mínimas, como o isolamento absoluto ou o acesso ao sistema de canais. Adicionalmente, fatores sistêmicos graves que aumentem o risco do procedimento e a ausência de viabilidade reabilitadora do dente devem orientar a decisão pela extração em detrimento do tratamento endodôntico (Zanza et al., 2023).

O principal objetivo é a eliminação da infecção microbiana do sistema de canais radiculares, seguida da sua selamento tridimensional para prevenir a reinfecção e

preservar os tecidos periapicais. Pretende-se manter o dente funcional na cavidade oral, livre de dor e inflamação, promovendo a regeneração ou manutenção da saúde periapical (Tabassum & Khan, 2016).

O tratamento endodôntico é dividido nas seguintes etapas: Acesso, instrumentação e obturação.

### **1.5. Acesso Endodôntico**

O acesso endodôntico constitui a etapa inicial do tratamento endodôntico após o diagnóstico e plano de tratamento, sendo essencial para o sucesso das fases subsequentes. Tem como principal objetivo permitir a localização, exploração e instrumentação dos canais radiculares de forma eficaz, segura e conservadora, promovendo a remoção completa do conteúdo pulpar e permitindo uma desinfecção tridimensional do sistema de canais (Shabbir et al., 2021).

### **1.6. Instrumentação e Desinfecção**

A instrumentação endodôntica tem como principal objetivo a remoção do conteúdo pulpar necrótico ou infetado, promovendo a modelação do sistema de canais radiculares de forma a facilitar a ação dos irrigantes, medicação intracanal se for necessário, e permitir uma obturação eficaz. Este processo visa reduzir significativamente a carga microbiana intracanal, remover detritos orgânicos e inorgânicos e permitir uma desinfecção química mais eficiente, contribuindo assim para a preservação dos tecidos periapicais e para o sucesso clínico do tratamento endodôntico (Eren et al., 2021).

Além disso, permite o acesso tridimensional dos irrigantes às irregularidades anatómicas do sistema de canais, que não seriam alcançadas apenas por ação mecânica. A combinação da ação mecânica e química é, portanto, fundamental para alcançar uma desinfecção eficaz (Gomes et al., 2023).

A instrumentação pode ser realizada através de várias técnicas que tem comum o objetivo de criar um espaço coniforme e contínuo, desde a abertura coronária até ao forame apical, otimizando a irrigação e obturação subsequente (Gulabivala et al., 2005).

A relação entre a instrumentação e a irrigação é indissociável. A instrumentação por si só não é capaz de eliminar todos os microrganismos nem de remover completamente a smear

layer, pelo que é imprescindível o uso de irrigantes como o hipoclorito de sódio e o Ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) para garantir a eficácia antimicrobiana e a limpeza do canal radicular. A correta alternância e ativação destes irrigantes potencia a desinfecção e previne falhas de tratamento (Gomes et al., 2023).

Do ponto de vista de prognóstico, a qualidade da instrumentação é um dos fatores mais determinantes no sucesso do tratamento endodôntico. Uma instrumentação eficaz, segura e bem integrada com a irrigação contribui para a desinfecção tridimensional do sistema de canais e favorece a cicatrização dos tecidos periapicais (Gomes et al., 2023).

### **1.6.1. NaOCl**

O hipoclorito de sódio (NaOCl) é, na prática endodôntica contemporânea, o irrigante de referência e o mais utilizado em tratamentos endodônticos devido às suas propriedades antimicrobianas, à sua capacidade de dissolução de tecido orgânico e ao seu efeito na desorganização do biofilme. Quimicamente, o NaOCl atua pela cloração de componentes celulares e desnaturação proteica, resultando em atividade bactericida eficaz. Além disso, a sua capacidade de penetrar e desintegrar biofilmes microbianos complexos permite eliminar comunidades bacterianas resistentes, complementando a instrumentação mecânica. Estas propriedades justificam a adoção generalizada do NaOCl como elemento central dos protocolos de desinfecção intracanal (Ruksakiet et al.,2020).

A sua atividade antimicrobiana decorre sobretudo da reação de cloraminação, em que o cloro reage com grupos amino de proteínas bacterianas, formando cloraminas capazes de inativar enzimas essenciais e de alterar irreversivelmente o metabolismo celular, culminando na morte microbiana. Em paralelo, o NaOCl promove a dissolução dos tecidos orgânicos através da saponificação, reação em que os ácidos graxos presentes nas membranas celulares e nos restos necróticos se convertem em sabões (glicerol e sais de ácidos graxos) e libertam amónia, facilitando a degradação e a remoção de resíduos orgânicos. A conjugação destes dois mecanismos, ação antimicrobiana e capacidade de dissolução tecidual, confere ao NaOCl uma posição central como irrigante de eleição em endodontia (Mohammadi et al.,2021).

A eficácia do hipoclorito de sódio (NaOCl) depende fortemente da concentração, do volume e do tempo de contacto. Na prática clínica, são utilizadas concentrações que variam geralmente entre 0,5% e 6%, sendo as soluções mais baixas (0,5–2,5%) associadas a menor citotoxicidade e maior margem de segurança, enquanto concentrações intermédias a elevadas (2,5–6%) potenciam a dissolução tecidular e o efeito antimicrobiano. Revisões sistemáticas demonstram que concentrações mais elevadas aceleram e ampliam a ação antimicrobiana e a dissolução de tecidos orgânicos, embora também aumentem o risco de citotoxicidade e de acidentes por extrusão apical. Contudo, estudos clínicos e meta-análises recentes sugerem que, em termos de resultados clínicos (como a resolução de lesões periapicais ou o alívio sintomático), a diferença entre baixas e altas concentrações é menos marcada do que em modelos laboratoriais, reforçando a necessidade de um equilíbrio entre potência desinfetante e segurança clínica (Rossi-Fedele & Rödiger, 2023).

O desempenho do NaOCl é significativamente potenciado quando combinado com ativação dinâmica. Técnicas de ativação (ultrassónica, sónica, agitação manual dinâmica e sistemas de pressão negativa) demonstram aumento da penetração do irrigante em canais laterais e complexidades anatómicas, maior remoção do *smear layer* e maior redução da carga bacteriana comparativamente à irrigação convencional por seringa. Consequentemente, a instrumentação e um protocolo de ativação adequados são determinantes para maximizar o efeito tridimensional do NaOCl (Tonini et al., 2022; Hoedke et al., 2021; Nagendrababu et al., 2018).

Além disso, é importante salientar que a incapacidade do NaOCl em remover completamente a porção inorgânica do *smear layer* limita a eficácia do tratamento endodôntico quando utilizado isoladamente. Esta limitação impede a limpeza total do sistema de canais radiculares, comprometendo a desinfecção adequada e a penetração de selantes e medicamentos intracanales, o que reforça a necessidade de protocolos complementares que incluam agentes quelantes ou irrigantes específicos para eliminar a componente mineral do *smear layer* (Huang et al., 2023).

As preocupações de segurança associadas ao uso clínico do NaOCl, tais como, toxicidade tecidular em caso de extrusão, corrosão de instrumentos, enfraquecimento dentário são bem documentadas nas revisões; assim, protocolos que privilegiem volumes adequados, irrigação controlada (seringa com êmbolo de baixa pressão, ponta entendida), irrigação

intercalada com agentes quelantes e ativação controlada diminuem o risco de complicações. A formação e a técnica operatória, incluindo manutenção da patência apical e controlo do nível de trabalho, são essenciais para obter o equilíbrio entre eficácia e segurança (Mohammadi et al., 2015).

Em síntese, a evidência derivada de revisões sistemáticas e meta-análises sustenta que o NaOCl permanece o irrigante de eleição na endodontia devido à sua combinação única de propriedades antimicrobianas e dissolventes. A sua eficácia clínica é maximizada por concentrações e volumes apropriados, por protocolos de ativação e por uma integração disciplinada com a instrumentação e com agentes complementares, por exemplo, o EDTA (Rossi-Fedele & Rödiger, 2022).

### **1.6.2. EDTA**

O EDTA é um agente quelante amplamente utilizado em endodontia devido à sua capacidade de remover eficazmente os componentes inorgânicos da *smear layer* que se formam durante a instrumentação mecânica dos canais radiculares. Quimicamente, o EDTA atua por complexação dos íons de cálcio presentes na dentina, promovendo a desmineralização controlada da superfície dentinária e facilitando a exposição da matriz colagénica, o que potencializa a penetração dos irrigantes subsequentes. Este mecanismo é essencial para garantir uma limpeza tridimensional eficaz do sistema de canais, uma vez que a *smear layer* pode servir como barreira física, impedindo a ação antimicrobiana e dificultando a adesão dos materiais de obturação (Mohammadi et al., 2013).

Clinicamente, o EDTA é utilizado geralmente após o hipoclorito de sódio (NaOCl), que atua na dissolução dos tecidos orgânicos. A sequência de irrigação com NaOCl seguida de EDTA é recomendada para assegurar a remoção tanto da matéria orgânica quanto da inorgânica, otimizando a limpeza dos canais radiculares. A aplicação do EDTA em concentrações entre 15% e 17% durante um tempo que varia entre 1 a 5 minutos é geralmente aceite como eficaz para a remoção da *smear layer* sem causar erosão significativa da dentina. A utilização prolongada ou em concentrações superiores pode, contudo, conduzir à desmineralização excessiva e à diminuição da resistência mecânica do dente (Atav et al., 2025; Fortea et al., 2024).

A interação química entre o EDTA e outros irrigantes merece especial atenção. Quando combinado com o NaOCl, o EDTA pode neutralizar parcialmente a ação do hipoclorito, pelo que se recomenda que as soluções sejam utilizadas de forma sequencial, com lavagem intercalada com água ou solução salina para minimizar reações adversas e precipitação. Além disso, o contacto direto e simultâneo entre EDTA e clorexidina pode resultar na formação de precipitados indesejados, pelo que a sequência e o enxaguamento adequado entre agentes irrigantes são cruciais para manter a eficácia dos protocolos (Rasimick et al., 2008).

A evidência científica proveniente de revisões sistemáticas e estudos laboratoriais apoia a utilização do EDTA como um componente fundamental na irrigação endodôntica, destacando a sua importância na remoção da smear layer, na melhoria da limpeza dos túbulos dentinários e na promoção de melhores resultados clínicos em termos de desinfecção e selamento do canal radicular (Fortea et al., 2024).

### **1.6.3. Clorohexidina (CHX)**

A clorohexidina (normalmente utilizada na forma de gluconato de clorohexidina) é uma molécula catiónica que interage electrostaticamente com os grupos aniónicos das membranas bacterianas, promovendo a perda de integridade da parede celular, precipitação do citoplasma e morte microbiana. Em concentrações baixas provoca efeito bacteriostático pela alteração da permeabilidade da membrana; em concentrações elevadas, por exemplo 2%, torna-se bactericida pela ruptura mais extensa da membrana celular. Uma propriedade clínica distintiva da CHX é a substantividade: a afinidade pelas superfícies dentinárias permite libertação prolongada do agente ao longo do tempo, conferindo efeito residual útil na prevenção de recolonização microbiana após a irrigação (Mohammadi & Abbott, 2009).

A CHX apresenta actividade de largo espectro contra muitos microrganismos relevantes em infeções endodônticas, incluindo bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. Contudo, embora a CHX reduza viabilidade microbiana em biofilmes, frequentemente não elimina totalmente populações profundas sem suporte de ação mecânica e de agentes com capacidade de dissolução orgânica. Assim, a CHX é valiosa na carga microbiana residual e como adjuvante, mas raramente substitui a necessidade de irrigantes quimicamente ativos capazes de dissolver tecido necrótico (Mohammadi et al., 2014).

Comparativamente ao NaOCl, a CHX oferece menor citotoxicidade e a vantagem da substantividade, mas não dissolve tecido orgânico nem neutraliza endotoxinas com a mesma eficácia do NaOCl. Revisões sistemáticas indicam que, em termos de redução bacteriana imediata, ambos os irrigantes podem apresentar eficácia semelhante em alguns protocolos experimentais; contudo, o NaOCl mantém-se o irrigante de eleição quando o objetivo primário é a dissolução de restos orgânicos e a redução mais abrangente do material necrótico. Clinicamente, a CHX é frequentemente usada como irrigante final em casos selecionados, tais como, pacientes com alergia ao hipoclorito, retratamentos complexos ou como irrigante complementar para efeito residual (Ruksakiet et al.,2020).

A evidência clínica e as recomendações consensuais apontam para o uso de CHX sendo em 2% a concentração mais frequentemente estudada como irrigante intracanal; contudo, a escolha da concentração deve ponderar eficácia versus segurança e a função pretendida. A mistura de hipoclorito de sódio (NaOCl) com clorexidina (CHX) origina um precipitado castanho-alaranjado associado à formação de p-cloroanilina (PCA), composto potencialmente tóxico e carcinogénico, ainda que a sua presença efetiva permaneça controversa, podendo também obstruir túbulos dentinários e comprometer a adesão de cimentos obturadores. Assim, protocolos contemporâneos sugerem que, quando a CHX é utilizada, deve-se evitar contacto direto com NaOCl (enxaguar abundantemente com solução salina estéril ou água entre agentes) e considerar a CHX como irrigante final para conferir efeito residual, especialmente em casos de reinfecção ou quando a dissolução tecidual foi eficazmente realizada com NaOCl previamente (Drews et al.,2023; Wang et al., 2007).

## **1.7. Obturação**

### **1.7.1. Aspectos Gerais**

A obturação do canal radicular, um dos passos mais importantes do tratamento endodôntico, consiste no preenchimento tridimensional do sistema de canais previamente instrumentados e desinfetados, criando uma barreira eficaz contra a infiltração de fluidos, bactérias ou produtos tóxicos, tanto do espaço coronário como dos tecidos periapicais (Moazzami et al., 2023).

O material obturador ideal deverá apresentar biocompatibilidade, estabilidade dimensional e resistência à degradação em meio húmido, bem como adequada

radiopacidade para permitir o controlo radiográfico. A sua manipulação deverá ser simples, facilitando a inserção e, se necessário, a remoção. É igualmente desejável que possua propriedades antimicrobianas residuais e que estabeleça íntimo contacto com as paredes dentinárias, garantindo a ausência de espaços que possam servir de nicho microbiano (Juntha et al., 2024).

A guta-percha mantém-se como o material sólido de eleição, empregue em conjugação com um cimento endodôntico que preencha os espaços não ocupados pelo cone e compense as irregularidades do canal. Entre os cimentos, salientam-se os de base biocerâmica, que exibem capacidade de bioatividade e indução de formação de tecido duro; os de base resínica, com bom comportamento adesivo e resistência mecânica; e os à base de óxido de zinco e eugenol, que, embora amplamente estudados, apresentam menor estabilidade volumétrica ao longo do tempo (Wong et al., 2017; Mathew & Hegde, 2008).

Diversas técnicas têm sido propostas, variando na complexidade e nos resultados obtidos. O método do cone único, pela sua simplicidade, é indicado em canais preparados com sistemas de conicidade uniforme e cimentos com elevada capacidade de vedação. A condensação lateral confere boa adaptação lateral, embora possa não preencher de forma eficaz todas as irregularidades. A condensação vertical a quente e os sistemas de termoplastificação permitem uma adaptação mais precisa da guta-percha às paredes do canal, sendo particularmente úteis em anatomias complexas, embora requeiram maior treino e controlo dos parâmetros térmicos (Robberecht et al., 2012; Drukteinis et al., 2021; Girelli et al., 2022)

O êxito clínico depende de múltiplos fatores, incluindo a qualidade da preparação biomecânica, a eficácia da irrigação, a secagem adequada e a escolha correta do material e técnica de obturação. A presença de canais acessórios não preenchidos, defeitos técnicos, ou contaminação durante o procedimento pode comprometer o selamento apical e favorecer o insucesso. A experiência do operador e o conhecimento da morfologia radicular são igualmente determinantes (Makanjuola et al., 2022; Tomson et al., 2025; Versiani et al., 2023).

As taxas de sucesso do tratamento endodôntico primário têm sido amplamente estudadas e confirmam a previsibilidade do procedimento quando realizado segundo protocolos adequados. Uma revisão sistemática atualizada de estudos longitudinais publicada entre

2003 e 2020 reportou taxas de sucesso ponderadas de 92,6% quando aplicados critérios radiográficos menos restritivos (redução ou desaparecimento da lesão periapical) e de 82% quando aplicados critérios mais rigorosos, como a resolução completa da lesão (Burns et al., 2022).

Já o insucesso do tratamento endodôntico primário está sobretudo associado a fatores biológicos e técnicos que comprometem a desinfecção e o selamento do sistema de canais. A presença de lesão periapical pré-operatória, a extensão e a qualidade da obturação radicular, bem como o estado restaurador final são identificados como variáveis com impacto significativo nos resultados clínicos. Assim, a persistência ou reinfeção microbiana constitui a principal causa de falha, frequentemente decorrente de instrumentação ou irrigação insuficientes, da complexidade anatômica que dificulta o acesso completo ao sistema de canais, ou ainda de obturações deficientes (curtas, extravasadas ou com espaços vazios). Acresce que restaurações coronárias inadequadas podem permitir infiltração e recontaminação do sistema, tal como fatores iatrogênicos (perfurações, degraus, fratura de instrumentos) ou fraturas radiculares, que também reduzem a previsibilidade do tratamento (Burns et al., 2022).

### **1.7.2. O Desafio da Obturação de Canais com Apex Aberto**

A eficácia deste selamento apical é considerada um fator determinante para o sucesso do tratamento. No entanto, a obtenção de um selamento apical adequado em dentes com ápice aberto, ou seja, com o desenvolvimento radicular incompleto, resultante de rizogênese incompleta, reabsorções apicais ou iatrogenias, representa um desafio particular devido à dificuldade em criar um selamento hermético e em estimular a formação de tecido mineralizado (Gill et al., 2024).

Nestes casos, a obturação requer uma atenção especial a vários detalhes e particularidades, uma vez que o forame apical apresenta uma região mais ampla e alargada, dificultando o fornecimento de um selamento eficaz, o que exige um controlo mais rigoroso na colocação do material obturador. A obturação inadequada em dentes com ápice aberto pode resultar na infiltração de bactérias e substâncias irritantes, levando ao insucesso do tratamento e à necessidade de uma nova intervenção endodôntica (Sayed & Al Hussein, 2018).

Historicamente, três abordagens principais têm sido propostas para o tratamento de dentes com ápice aberto: Apexificação com hidróxido de cálcio, técnica de barreira apical com MTA ou materiais biocerâmicos e procedimentos regenerativos endodônticos (Panda et al., 2022).

A técnica de apexificação com hidróxido de cálcio foi, durante décadas, o tratamento de escolha em casos de rizogênese incompleta. Esse método baseia-se na aplicação repetida do medicamento intracanal com o objetivo de induzir a formação de uma barreira apical calcificada. Embora apresente taxas de sucesso que variam entre 74 % e 100 % (Sheehy & Roberts, 1997), trata-se de um procedimento prolongado, frequentemente exigindo múltiplas consultas ao longo de 6 a 24 meses com risco de fraturas radiculares devido à desmineralização induzida pela exposição prolongada ao fármaco (Hadjiantonis, 2016).

A técnica de barreira apical com MTA surgiu como uma alternativa mais previsível e eficiente, permitindo a formação imediata de uma barreira artificial na região apical. O MTA e, mais recentemente, os cimentos biocerâmicos à base de silicato de cálcio, exibem excelente biocompatibilidade, bioatividade, capacidade de selamento e tempo de tratamento reduzido (Torabinejad & Chivian, 1999; Al-Rayesse et al., 2024). Apesar do custo mais elevado e da dificuldade de manipulação, esta técnica apresenta altas taxas de sucesso clínico (90–95 %), sendo atualmente a mais amplamente recomendada para dentes com ápice aberto (Bucher et al., 2016).

Os procedimentos regenerativos endodônticos representam uma abordagem mais recente, focada na revascularização e continuação do desenvolvimento radicular. Este método combina desinfecção mínima, estimulação do sangramento apical e uso de biomateriais e scaffolds para favorecer a regeneração do tecido pulpar e a neoformação dentinária. Entre as suas vantagens estão a manutenção da vitalidade radicular e do potencial de crescimento, enquanto as limitações incluem resultados imprevisíveis, maior tempo clínico, custo elevado e necessidade de colaboração do paciente (Li et al., 2023; Raddall et al., 2019).

Apesar dos avanços na endodontia e no desenvolvimento de biomateriais, a obturação de dentes com ápice aberto continua sendo um desafio significativo. A ausência de uma constricção apical dificulta o controle da profundidade e da quantidade do material obturador, aumentando o risco de extravasamento para os tecidos periapicais. Além disso, as paredes radiculares finas e frágeis desses dentes tornam o preparo biomecânico e a

obturações mais complexas, exigindo técnicas e materiais específicos para garantir um selamento apical eficaz e prevenir falhas no tratamento (Bernhart, 2021).

A necessidade de promover um selamento apical adequado, através da utilização de um material obturador biocompatível e bioativo, capaz de estimular a reparação tecidual tem impulsionado a procura por soluções alternativas e o desenvolvimento de novos materiais obturadores (Celikten et al., 2016).

Apesar do grande número de estudos sobre endodontia, existe uma lacuna de estudos comparativos *in vitro* que avaliem a eficácia de diferentes materiais de obturação na sua capacidade de selamento apical em dentes com ápice aberto. Embora alguns materiais, como o Agregado Trióxido Mineral (MTA) e os cimentos biocerâmicos, tenham demonstrado resultados promissores em estudos clínicos, ainda não há evidência científica suficiente que estabeleça um protocolo padrão ou que defina a melhor abordagem para alcançar a obturação ideal nesses casos (Al-Rayesse et al., 2024).

Nos dentes com ápice aberto, a escolha do material obturador desempenha um papel crucial na eficácia do selamento apical, especialmente no que diz respeito à microinfiltração e à adaptação marginal. Entre as opções disponíveis, destacam-se o Agregado de Trióxido Mineral (MTA), o cimento biocerâmico e o cimento resinoso, é fundamental determinar qual apresenta a melhor capacidade de vedação, garantindo assim um prognóstico mais favorável nos tratamentos endodônticos (Yazdizadeh et al., 2013).

A análise comparativa entre estes materiais permite avaliar se existem diferenças estatisticamente significativas no desempenho do selamento apical em dentes com ápice aberto. De acordo com os estudos *in vitro*, espera-se que o cimento biocerâmico apresente uma superioridade em termos de selamento, devido às suas propriedades físico-químicas que favorecem a bioatividade e a adaptação marginal (Mahendra et al., 2022).

### **1.7.3. Cimentos Resinosos**

Os cimentos resinosos tiveram a sua origem em 1938, quando Pierre Castan desenvolveu o primeiro cimento à base de resina sintética. Posteriormente, foram introduzidos na Endodontia por Schroeder, em 1981, e, desde então, são amplamente utilizados devido à sua elevada capacidade de selamento apical e baixa solubilidade (Ashraf et al., 2017).

Os cimentos à base de resina epóxi, como o AH Plus® (Dentsply Sirona, Bensheim, Alemanha), apresentam boas propriedades seladoras e baixa citotoxicidade, além de promoverem um adequado reparo apical e periapical. Devido a estas características, os cimentos epóxi são frequentemente considerados o “*gold standard*” entre os selantes endodônticos, sendo amplamente utilizados como referência para avaliação de novos materiais (Silva et al., 2017; Álvarez-Vásquez et al., 2024).

A técnica de obturação influencia diretamente o desempenho dos cimentos resinosos. O uso da técnica de cone único pode ser particularmente adequado quando o cimento apresenta boa adesividade, como é o caso dos cimentos resinosos, e tem sido também amplamente indicada com cimentos biocerâmicos, devido à sua compatibilidade com essa técnica. No entanto, a técnica de condensação lateral pode favorecer um melhor selamento em algumas situações clínicas, tais como a anatomia radicular, a presença de lesão periapical e as exigências de selamento hermético. Nos casos de canais anatômicos simples e conicidade adequada, a técnica de cone único mostra-se particularmente eficaz quando associada a cimentos com elevada adesividade, como os resinosos, ou com capacidade de interação química com a dentina, como os biocerâmicos. Por outro lado, em situações de canais largos, achatados ou com irregularidades, a técnica de condensação lateral pode favorecer um preenchimento mais homogêneo e reduzir o risco de espaços vazios, otimizando o selamento. Além disso, em retratamentos endodônticos ou em casos de anatomia complexa, a condensação pode proporcionar maior compactação da guta-percha e melhor adaptação do cimento às paredes dentinárias (Sungur et al., 2016; Nouroloyouni et al., 2023).

A degradação dos cimentos resinosos pode impactar a longevidade do tratamento. Estudos indicam que esses materiais apresentam boa estabilidade ao longo do tempo, desde que não haja exposição a fluidos orais, o que pode comprometer sua integridade e adesão (Camargo et al., 2014).

Embora os cimentos resinosos sejam recomendados para casos que exigem elevada adesividade e bom selamento apical, a sua aplicação pode não ser ideal em situações clínicas que envolvam ápices abertos, reabsorções apicais, retratamentos ou cirurgia apical, onde se privilegia a biocompatibilidade, a estabilidade dimensional e a capacidade de indução de reparação tecidual. Nestes casos, os cimentos biocerâmicos constituem

uma alternativa mais adequada devido à sua bioatividade e tolerância à humidade (Esen & Kalabalik, 2024; Mansour et al., 2024; Álvarez-Vásquez et al., 2024).

A vedação apical dos cimentos resinosos é comparável ou superior à de outros cimentos, reduzindo a infiltração bacteriana e favorecendo a longevidade do tratamento endodôntico (Camargo et al., 2014).

Apesar dessas vantagens, os desafios relacionados à degradação ao longo do tempo e à manipulação exigem protocolos específicos para otimizar a adesão e garantir a durabilidade do tratamento (Da Rosa et al., 2013).

#### **1.7.4. AH Plus®**

O cimento endodôntico AH Plus® é um selador à base de resina epóxi amplamente utilizado devido à sua estabilidade dimensional, baixa solubilidade e elevada radiopacidade, o que permite avaliação radiográfica clara do selamento obtido. Comercializado em duas pastas separadas, base e catalisador, o material apresenta tempos de presa adequados e propriedades físicas estáveis após a mistura. Estudos demonstram que sua solubilidade está dentro dos limites aceitáveis e que a radiopacidade é significativamente superior a selantes alternativos (Schäfer et al., 2013).

A avaliação da citotoxicidade do AH Plus indica que apresenta toxicidade inicial nas primeiras 24 a 72 horas após aplicação, diminuindo com o tempo, o que sugere que o material endurecido torna-se bem tolerado pelos tecidos periapicais. Comparativamente a seladores biocerâmicos emergentes, o AH Plus tem demonstrado ser ligeiramente mais citotóxico, embora devidamente curado se torne adequado ao contacto com tecidos vivos (Oh et al., 2020).

Durante o processo de polimerização, o AH Plus exibe atividade antimicrobiana significativa contra *Enterococcus faecalis*, mas essa eficácia decresce com o tempo após o endurecimento. A adição de nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) aumentou essa atividade *in vitro*, sugerindo que inovações na composição podem melhorar o desempenho contra microrganismos residuais (Silva et al., 2020).

Testes laboratoriais compararam a capacidade de vedação e resistência adesiva de seladores à base de resina (como o AH Plus) com seladores biocerâmicos (como GuttaFlow Bioseal). O foco demonstrou que, embora os seladores biocerâmicos por vezes ofereçam melhor selamento, o AH Plus mantém maior adesão, resultando em excelente retenção mecânica (Ferreira et al., 2022).

### **1.7.5. Cimentos Biocerâmicos**

Os cimentos biocerâmicos são materiais inovadores utilizados na obturação dos canais radiculares. Eles são compostos principalmente por silicatos de cálcio e outros componentes bioativos que promovem a regeneração tecidual e melhoram a vedação tridimensional do sistema de canais radiculares (Badawy & Mohamed, 2022).

Desde a introdução do MTA na década de 1990, os materiais biocerâmicos evoluíram significativamente, resultando em formulações como o Biodentine, EndoSequence BC Sealer e BioRoot RCS. Esses materiais oferecem melhor manuseio, tempos de presa reduzidos e propriedades antibacterianas aprimoradas, tornando-os uma alternativa superior aos cimentos tradicionais, como os cimentos à base de óxido de zinco-eugenol (Dong & Xu, 2023).

A introdução dos cimentos biocerâmicos revolucionou a endodontia, oferecendo uma opção mais segura e eficaz para a obturação dos canais radiculares. Sua capacidade de promover a regeneração óssea e pulpar, aliada à sua estabilidade química, faz com que sejam amplamente indicados em diversas situações clínicas, incluindo: Tratamento de perfurações radiculares; Apexificação em dentes imaturos; Obturadores em retratamento endodôntico; Preenchimento de defeitos ósseos e reabsorções (De França et al., 2019; Silva & Almeida, 2019).

Além disso, estudos recentes indicam que a utilização de cimentos biocerâmicos pode reduzir a dor pós-operatória e melhorar a longevidade dos tratamentos endodônticos, tornando-os essenciais para a prática clínica moderna (Mittal et al., 2024).

A biocompatibilidade dos cimentos biocerâmicos é uma de suas principais vantagens, pois minimiza reações inflamatórias e favorece a regeneração dos tecidos periapicais (Sanz et al., 2022). Diferentemente dos cimentos resinosos ou à base de óxido de zinco-

eugenol, os biocerâmicos não liberam substâncias citotóxicas e promovem a adesão às paredes dentinárias, criando uma interface estável e duradoura.

Além disso, a vedação tridimensional eficiente proporcionada pelos cimentos biocerâmicos impede a infiltração bacteriana e reduz o risco de falhas endodônticas. Estudos mostram que sua capacidade de formar hidroxiapatita na interface dentinamento melhora a adesão e reduz a microinfiltração, um fator essencial para o sucesso do tratamento endodôntico. Esses materiais também se destacam por sua biocompatibilidade, promovendo uma menor resposta inflamatória nos tecidos periapicais em comparação com os cimentos resinosos (Abo El-Mal, 2023; Sanz et al., 2022).

**Biocompatibilidade:** Estudos *in vitro* demonstram que cimentos como BioRoot RCS (Root Canal Sealer) e TotalFill BC (Bioceramic) Sealer não induzem toxicidade celular, favorecendo a regeneração dos tecidos adjacentes (Sanz et al., 2022).

**Bioatividade:** Esses cimentos promovem a formação de hidroxiapatita na interface com a dentina, facilitando a adesão ao substrato dentinário e reduzindo a infiltração bacteriana (Badawy & Mohamed, 2022).

**Interação com tecidos periapicais:** Em casos de extrusão acidental, os biocerâmicos demonstram menor potencial irritativo e são capazes de estimular a neoformação óssea e a reparação tecidual (Dong & Xu, 2023).

A bioatividade e a biocompatibilidade tornam esses cimentos a escolha ideal para procedimentos endodônticos, especialmente em casos de lesões periapicais extensas (Zampirini et al., 2024).

#### **1.7.6. BioRoot™ RCS**

O cimento BioRoot RCS distingue-se dos endodônticos convencionais por ser um produto mineral e livre de resinas, formulado à base de silicato tricálcico, óxido de zircônio e polivinilpirrolidona, sendo ativado por uma solução aquosa contendo cloreto de cálcio e poliácrlato. Esta composição confere elevada biocompatibilidade, ausência

de encolhimento após a presa e capacidade de aderir à dentina de forma duradoura, graças à formação de uma interface química estável (Siboni et al., 2017; Lim et al., 2020).

O BioRoot RCS apresenta fluidez otimizada e hidrofília, o que lhe permite manter o selamento mesmo na presença de ligeira humidade. É radiopaco, com estabilidade dimensional adequada a selamentos duradouros. A sua bioatividade está associada à libertação sustentada de iões cálcio e ao pH alcalino, promovendo mineralização e formação de apatite na interface com a dentina (Siboni et al., 2017; Colombo et al., 2018; Poggio et al., 2017).

Estudos laboratoriais e clínicos demonstram que o BioRoot RCS apresenta excelente capacidade de selamento apical e adaptação às paredes dentinárias, inclusive em canais com anatomia complexa. A sua utilização com técnica de cone único frio apresenta resultados comparáveis ou superiores a seladores à base de resina epóxi na prevenção de infiltração microbiana (Viapiana et al., 2015; Haji et al., 2022).

A aplicação do BioRoot RCS é recomendada em casos de polpas vitais ou necrosadas, bem como em retratamentos, beneficiando de propriedades que favorecem o uso em canais acessórios e situações de humidade residual. A literatura também aponta para a sua segurança biológica, tornando-o adequado em áreas de proximidade com tecidos periapicais (Santos et al., 2023; Salah et al., 2021).

O BioRoot RCS é indicado para técnicas de obturação fria, como o cone único ou condensação lateral, uma vez que o aquecimento pode modificar as suas propriedades físico-químicas. A sua fluidez e capacidade de penetração nos túbulos dentinários favorecem a obturação tridimensional, minimizando a necessidade de técnicas de elevada complexidade (Nomura et al., 2023; Singhal et al., 2025).

## **1.8. JUSTIFICAÇÃO**

O êxito do tratamento endodôntico está intrinsecamente associado à obtenção de um selamento apical eficaz, que impeça a difusão de microrganismos e toxinas para os tecidos periapicais. Esta exigência clínica torna-se particularmente desafiante em dentes com ápice aberto, onde a ausência de uma constrição apical anatómica dificulta o controlo da extensão da obturação e compromete a eficácia do selamento tridimensional.

A morfologia desfavorável dos canais com ápice aberto – caracterizada por forames amplos e paredes radiculares delgadas – limita a previsibilidade das técnicas convencionais e impõe a necessidade de materiais obturadores que aliem elevada biocompatibilidade, estabilidade dimensional e propriedades bioativas. Os cimentos biocerâmicos emergem como alternativas promissoras, sendo reconhecidos pela sua capacidade de induzir a formação de tecido mineralizado e de estabelecer uma vedação eficaz na interface dentina-material. No entanto, apesar da sua crescente utilização clínica, a evidência científica comparativa que suporte a sua superioridade face a cimentos resinosos tradicionais é escassa em contextos que simulem condições de ápice aberto.

Neste sentido, a presente investigação justifica-se pela necessidade de produzir dados experimentais que permitam comparar, de forma controlada e padronizada, a capacidade de selamento apical de dois tipos de cimentos endodônticos com características físico-químicas distintas – o cimento biocerâmico BioRoot™ RCS e o cimento resinoso AH Plus® em situações de dentes com apex aberto.

Após a revisão da literatura e de acordo com o conhecimento atual, não foram encontradas, até à data de conclusão deste trabalho, publicações que comparem a capacidade de selamento apical em dentes com ápices artificialmente abertos de diferentes diâmetros, obturados com cimentos endodônticos de características diferentes. Este estudo procura, assim, colmatar essa lacuna e fornecer evidência científica que contribua para a otimização das estratégias de obturação em situações clínicas complexas, promovendo o sucesso a longo prazo dos tratamentos endodônticos. Desta forma, foram elaborados os objetivos deste trabalho e suas hipóteses descritas a seguir.



## 2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

### 2.1. Objetivo geral

Esta investigação tem como objetivo geral avaliar, *in vitro*, a capacidade de selamento apical de diferentes cimentos endodônticos em dentes humanos com ápices artificialmente abertos. A utilização de raízes com calibres apicais estandardizados (0,70 mm e 0,90 mm) permite uma análise comparativa rigorosa do desempenho dos materiais, fornecendo suporte científico para a seleção clínica do cimento obturador em casos de rizogênese incompleta ou retratamentos com alargamento apical iatrogénico.

### 2.2. Objetivos específicos

- Medir e comparar, em milímetros, a infiltração apical de corante em dentes humanos obturados com cimento resinoso AH Plus® e cimento biocerâmico BioRoot™ RCS.
- Medir e comparar em milímetros, a infiltração apical de corante em dentes humanos com diâmetros apicais de 0,70 mm e 0,90 mm.
- Medir e comparar em milímetros, a infiltração apical de corante em dentes humanos obturados com cimento resinoso, com diâmetros apicais de 0,70 mm e 0,90 mm.
- Medir e comparar, em milímetros, a infiltração apical de corante em dentes humanos com diâmetros apicais de 0,70 mm e 0,90 mm, obturados com cimento biocerâmico.
- Medir e comparar, em milímetros, a infiltração apical de corante em dentes humanos com diâmetro apical de 0,70 mm, obturados com cimentos resinosos e biocerâmicos.
- Medir e comparar, em milímetros, a infiltração apical de corante em dentes humanos com diâmetro apical de 0,90 mm, obturados com cimentos resinosos e biocerâmicos.

### 2.3. Hipóteses propostas

#### Hipótese 1 – Comparação entre cimento resinoso AH Plus® e biocerâmico BioRoot™ RCS

- **H<sub>0</sub> (hipótese nula):** Não existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes obturadas com o cimento AH Plus® e aquelas obturadas com o cimento BioRoot™ RCS.
- **H<sub>1</sub> (hipótese alternativa):** Existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes obturadas com o cimento AH Plus® e aquelas obturadas com o cimento BioRoot™ RCS.

### **Hipótese 2 – Comparação entre diâmetros apicais de 0,70 mm e 0,90 mm**

- **H<sub>0</sub> (hipótese nula):** Não existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetro apical de 0,70 mm e raízes com diâmetro apical de 0,90 mm.
- **H<sub>1</sub> (hipótese alternativa):** Existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetro apical de 0,70 mm e raízes com diâmetro apical de 0,90 mm.

### **Hipótese 3 – Comparação entre diâmetros apicais em raízes obturadas com cimento resinoso**

- **H<sub>0</sub> (hipótese nula):** Não existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetros apicais de 0,70 mm e 0,90 mm obturadas com cimento resinoso.
- **H<sub>1</sub> (hipótese alternativa):** Existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetros apicais de 0,70 mm e 0,90 mm obturadas com cimento resinoso.

### **Hipótese 4 – Comparação entre diâmetros apicais em raízes obturadas com cimento biocerâmico**

- **H<sub>0</sub> (hipótese nula):** Não existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetros apicais de 0,70 mm e 0,90 mm obturadas com cimento biocerâmico.
- **H<sub>1</sub> (hipótese alternativa):** Existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetros apicais de 0,70 mm e 0,90 mm obturadas com cimento biocerâmico.

### **Hipótese 5 – Comparação entre tipos de cimento em raízes com diâmetro apical de 0,70 mm**

- **H<sub>0</sub> (hipótese nula):** Não existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetro apical de 0,70 mm obturadas com cimento resinoso e aquelas obturadas com cimento biocerâmico.

- **H<sub>1</sub> (hipótese alternativa):** Existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetro apical de 0,70 mm obturadas com cimento resinoso e aquelas obturadas com cimento biocerâmico.

#### **Hipótese 6 – Comparação entre tipos de cimento em raízes com diâmetro apical de 0,9 mm**

- **H<sub>0</sub> (hipótese nula):** Não existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetro apical de 0,90 mm obturadas com cimento resinoso e aquelas obturadas com cimento biocerâmico.
- **H<sub>1</sub> (hipótese alternativa):** Existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com diâmetro apical de 0,90 mm obturadas com cimento resinoso e aquelas obturadas com cimento biocerâmico.

#### **Hipótese 7 – Comparação entre ambos os diâmetros apicais e os dois tipos de cimento endodôntico**

- **H<sub>0</sub> (hipótese nula):** Não existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com calibres apicais de 0,70 mm e 0,90 mm, obturadas com os cimentos AH Plus® e BioRoot™ RCS.
- **H<sub>1</sub> (hipótese alternativa):** Existem diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical de corante, em milímetros, entre raízes com calibres apicais de 0,70 mm e 0,90 mm, obturadas com os cimentos AH Plus® e BioRoot™ RCS.



### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **1. Materiais**

AH Plus® (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany)

Álcool etílico (Continente Hipermercados, Senhora da Hora, Portugal)

Algodão (Continente Hipermercados, Senhora da Hora, Portugal)

Azul de metileno (Preparado pelo departamento de Microbiologia do IUEM).

BioRoot™ RCS (Septodont; Saint-Maur-Des-Fosses, France)

Boiões esterilizados (Esteriplás; S. M. Feira, Portugal)

Broca esférica FG 1014 – (KG Sorensen, Cotia, Brasil)

Broca Endo-Z – (Dentsply Sirona, Bensheim, Alemanha)

Brocas Peeso ISO 70 e 90 – (Maillefer, Ballaigues, Suíça)

Caneta de acetato (Lumocolor nº318, STAEDTLER Mars GmbH & Co. KG, Nuernberg, Germany)

Cones de guta-percha Great Pro Taper F3 (VIDU; Alicante, Espanha)

Cones de papel DiaPro Iso 4%, (DiaDent; Almere, Netherlands).

Copo plástico descartável (Continente Hipermercados, Senhora da Hora, Portugal)

Curetas periodontais Gracey 1-2 (Hu-Friedy Mfg. Co. LLC; Frankfurt, Germany)

Disco diamantado nº943-104 (Komet; Trophagener, Germany)

EDTA 17% (produzido pelo departamento de microbiologia do IUEM)

Entellan (Merck, Darmstadt, Germany)

Fósforos (Auchan Hipermercados, Senhora da Hora, Portugal)

Frasco Eppendorf de plástico (QingUG; Berlin, Germany)

Lâminas microscópicas (Sliu-005-050; Lab box, Barcelona, Spain)

Lâmina de Bisturi nº 15 (Swann Morton, Sheffield, Inglaterra)

Lima 10K-40K (Dentsply Maillefer, Baillagues, Switzerland)

NaOCl 5,25% (produzido pelo departamento de microbiologia do IUEM)

Plugger endodôntico (UDG Dental, Changzhou, China)

Ponta ultrassónica E93 (Woodpecker Medical Instrument Co, Guangxi, China)

Régua calibradora (Dentsply Maillefer, Baillagues, Switzerland)

Resina flúida Tetric Evoflow™ (Ivoclar Vivadent; Schaan, Liechtenstein)

Seringa Navitip™ 27G (Ultradent Products; South Jordan. USA)

Sidexis 4 (Dentsply Sirona; Bensheim, Germany)

Soro fisiológico (produzido pelo departamento de microbiologia do IUEM)

SPSS 25.0 (Spss Inc., Chicago, IL, USA)

Sistema Reciprocante VDW Reciproc Blue ® (VDW, Munique, Alemanha) – R40 (0,06/40)

Suportes de corte para micrótomo (produzido pelo IUEM)

Verniz de Unha Essence (Essence, Luxemburgo, Luxemburgo)

## **2. Aparatologia:**

Estufa incubadora Memmert INE400 (Memmert Gmbh; Shwabach, Germany)

Lamparina (Bader, Nigrán, Espanha)

Micrótomo (Accutom-50; Struers, Cleveland, USA)

Microscópio Clínico Extrato 300 (Zeiss Meditec, Jena, Germany)

Motor E-Connect Pro (MK Life, Porto Alegre, Brasil)

Peça de mão NSK™ (EX203C; NSK, Eschborn, Germany)

## **3. Metodologia**

### **3.1. Considerações éticas**

O presente estudo foi proposto como trabalho final para a obtenção do título de Mestre em Medicina Dentária.

Foi requerida a autorização para a sua realização ao Comité de Ética do Instituto Universitário Egas Moniz - processo interno PT-598/24 - a qual foi concedida por unanimidade no dia 01 de abril de 2025.

Todos os procedimentos foram realizados por um único operador, o autor deste trabalho, nas instalações da Clínica Dentária Egas Moniz.

Com o objetivo de comparar a capacidade de selamento apical dos cimentos endodônticos BioRoot™ RCS e AH Plus® em dentes com ápice artificialmente aberto, elaborou-se o presente estudo laboratorial de natureza experimental.

### **3.2. Descrição da amostra**

Oitenta dentes humanos monorradiculares obtidos em clínicas dentárias em Lisboa, Almada e Costa da Caparica, durante o ano letivo de 2024/25. Os mesmos foram hidratados e armazenados em soro fisiológico até ao momento da experiência. Nestes incluíam-se incisivos centrais, incisivos laterais, caninos e pré-molares, mandibulares e maxilares.

### 3.3. Critérios de inclusão

Este processo foi minuciosamente verificado através de observação detalhada e da análise de radiovisiografia digital (RVG). As radiografias foram obtidas com o auxílio do software Sidexis 4 (Dentsply Sirona; Bensheim, Alemanha), sendo analisadas tanto na visão vestibulo-lingual como na vista proximal, assegurando que todos os dentes selecionados atendiam aos requisitos necessários para o estudo.

Os critérios de inclusão definidos foram:

- Dentes humanos monorradiculares com anatomia dentária interna tipo I de Vertucci;
- Dentes sem tratamentos endodônticos prévios;
- Dentes sem calcificações e sem reabsorções radiculares;
- Dentes sem *cracks* ou fraturas;
- Dentes com curvatura radicular inferior a 5°;

### 4. Padronização dos espécimes

Os dentes foram numerados de 1 a 80 utilizando uma caneta de acetato (Lumocolor nº 318, STAEDTLER Mars GmbH & Co. KG, Nuremberga, Alemanha). Após a confirmação de todos os critérios de inclusão, foram excluídos trinta dentes. De seguida, procedeu-se ao desbridamento das superfícies radiculares externas com um destarizador e curetas periodontais Gracey 1-2 (Hu-Friedy Mfg. Co. LLC; Frankfurt, Germany), a fim de remover quaisquer resíduos de tártaro, fragmentos ósseos e tecidos moles aderentes.

A alocação dos dentes nos grupos experimentais foi realizada em duas etapas, de forma aleatória, garantindo uma distribuição homogénea dos espécimes. Inicialmente, os 50 dentes incluídos na amostra foram randomizados em dois grupos experimentais principais, G1 e G2, com  $n = 20$  cada, correspondendo aos diferentes calibres apicais simulados (0,70 mm e 0,90 mm, respetivamente), e em dois grupos controlo (positivo e negativo) com  $n = 5$  cada.

Tabela 1 - Grupos e subgrupos experimentais iniciais conforme o diâmetro apical e o tipo de

Subgrupo	Diâmetro/ Material de Obturação	n
G1S1	Dentes com diâmetro apical de 0,70 mm/ Cimento resinoso (AH Plus®)	10
G1S2	Dentes com diâmetro apical de 0,70 mm/ Cimento biocerâmico (BioRoot™ RCS)	10
G2S1	Dentes com diâmetro apical de 0,90 mm/ Cimento resinoso (AH Plus®)	10
G2S2	Dentes com diâmetro apical de 0,90 mm/ Cimento biocerâmico (BioRoot™ RCS)	10

material de obturação utilizado

Após a instrumentação, cada grupo experimental foi novamente submetido a randomização para a formação de dois subgrupos de acordo com o tipo de cimento obturador utilizado: G1S1 (AH Plus®) e G1S2 (BioRoot™ RCS); G2S1 (AH Plus®) e G2S2 (BioRoot™ RCS), com n = 10 espécimes por subgrupo. Esta distribuição aleatória foi efetuada por sorteio simples utilizando a inteligência artificial ChatGpt entre os grupos e a ausência de viés de seleção, conforme apresentado na Tabela 1.

Durante o processo de padronização dos espécimes da amostra, foram realizadas duas marcações de referência em cada dente, com o objetivo de uniformizar o comprimento radicular. Cada dente foi inicialmente medido com uma régua endodôntica (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) e marcado em dois pontos, um a 16 mm da extremidade coronária, e outro a 2mm do ápice radicular utilizando uma caneta permanente para acetato. Esta marca serviu como referência de modo a obter dentes com comprimento padronizado a 14mm

Os cortes foram realizados sob irrigação contínua com água destilada, utilizando um disco diamantado nº 943-104 (Komet, Trophagener, Alemanha) acoplado a uma peça de mão de baixa rotação NSK EX203C (NSK, Eschborn, Alemanha), conforme ilustrado nas imagens (Figuras 1 e 2).

Este procedimento garantiu a padronização dimensional de todas as raízes, assegurando a reprodutibilidade dos resultados e eliminando variações morfológicas significativas entre os espécimes.



Figura 1 – Mesa preparada para secionar os dentes com peça de mão de baixa rotação NSK EX203C, disco diamantado n°943-104, pinça clínica, brocas Peeso e soro fisiológico

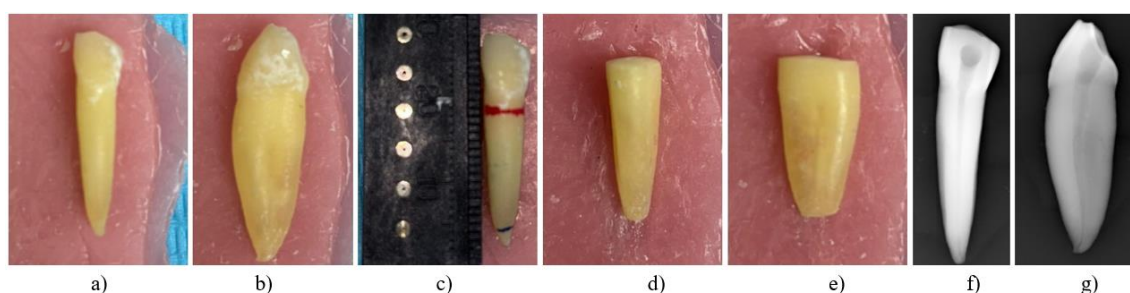


Figura 2 - Processo de seleção de espécimes: a) Vista vestibular inicial; b) Vista proximal inicial; c) Dente marcado a 14mm na extremidade coronária e apical; d) Dente secionado em vista vestibular; e) Dente secionado em vista proximal; f) Radiografia vestibular inicial; g) Radiografia proximal inicial

Antes da utilização das brocas Peeso, é realizada uma pré-instrumentação: estabelece-se a patência com uma lima K #10 até a lima K #15.

## 5. Instrumentação

A instrumentação foi iniciada a partir da criação do *glide path* (trajeto de deslizamento) com a lima manual de aço inoxidável tipo K #10 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça). Em seguida, realizou-se o *preflaring* dos terços cervical e médio com limas manuais tipo K #15 e #20, sob irrigação abundante com solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) a

5,25%, até atingir o comprimento de trabalho determinado. Este procedimento teve como objetivo garantir a permeabilidade e a segurança do trajeto apical, reduzindo o risco de fratura dos instrumentos mecanizados.

Após a confirmação do *preflaring*, iniciou-se a instrumentação mecanizada com o sistema Reciproc® R40 (40/06), acionado em contra-ângulo e motor elétrico E-Connect PRO (MK Life, Porto Alegre, Brasil), seguindo o movimento recíprocante preconizado pelo fabricante. O instrumento foi utilizado com movimentos suaves de vaivém (“*pecking motion*”) (Figura 3).

Nos intervalos entre o uso das limas, realizou-se a irrigação dos canais com 3 mL de hipoclorito de sódio a 5,25 % (solução produzida pelo Departamento de Microbiologia do IUEM) empregando uma agulha Navitip™ 27 G de saída lateral (Ultradent Products, South Jordan, EUA) e agitação manual.

Concluída a instrumentação, aplicou-se 1 mL de EDTA a 17% — (preparado pelo Departamento de Microbiologia do IUEM) com o objetivo de remover a *smear layer* (Figura 4). Após a padronização das amostras, fez-se a primeira randomização em 2 grupos experimentais (n=20) e 2 subgrupos (n=10).



Figura 3- Lima VDW Reciproc R40 no espécime



Figura 4 - Mesa preparada para instrumentação do canal radicular com limas tipo K, EDTA e motor E-Connect Pro

Os diâmetros apicais finais foram padronizados de acordo com os grupos experimentais:

- Grupo G1 (n=20): Foi utilizada a broca Peeso ISO #70 (Número 1) para padronizar o diâmetro cervical e permitir um preparo apical correspondente a 0,70mm (Figura 5).

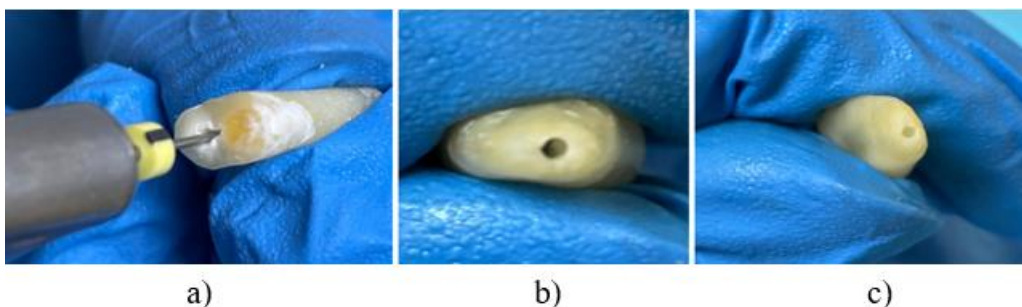


Figura 5- a) Peeso #70 no espécime; b) e c) Vistas do preparo apical

- Grupo G2 (n=20): Foi utilizada a broca Peeso ISSO #90 (Número 2) para padronizar o diâmetro cervical e permitir um preparo apical correspondente a 0,90mm (Figura 6).

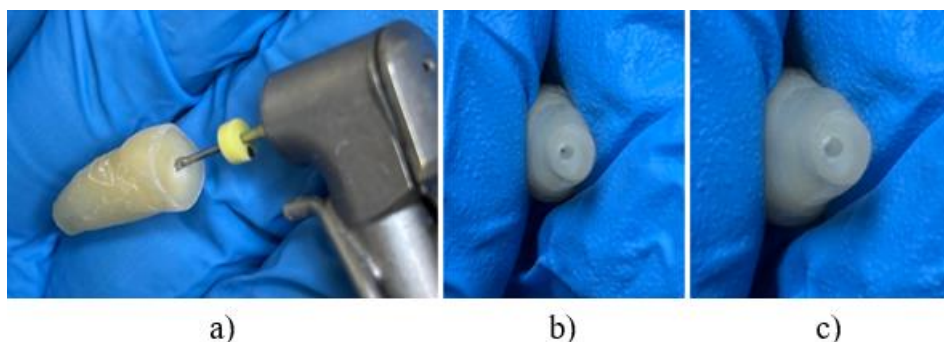


Figura 6 - a) Peeso #90 no espécime; b) e c) Vistas do preparo apical

- Grupo Controlo Positivo (n=5): Os dentes alocados ao grupo controlo positivo foram submetidos aos mesmos procedimentos de instrumentação e preparação apical aplicados aos grupos experimentais. A instrumentação foi realizada com o sistema recíprocante VDW Reciproc® até à lima R40 (40/06), seguindo-se o alargamento apical com brocas Peeso ISO 70 (0,70 mm)
- Grupo Controlo Negativo (n=5): Os espécimes atribuídos ao grupo controlo negativo foram igualmente submetidos ao protocolo completo de instrumentação com o sistema VDW Reciproc® até à lima R40, seguido da ampliação apical com brocas Peeso ISO 70 (0,70mm).

A irrigação final dos canais foi realizada com 5ml de soro fisiológico e a secagem feita com cones de papel (DiaPro Iso 4%, DiaDent; Almere, Netherlands).



Figura 7 - Padronização dos espécimes

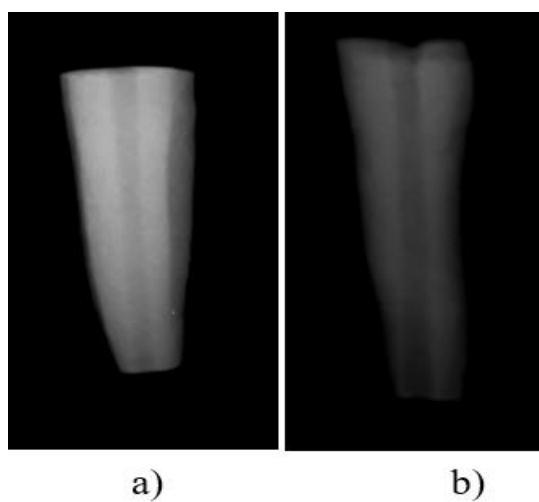


Figura 8 - a) Radiografia vestibular pós instrumentação com Peeso #70 (Número 1); - b) Radiografia vestibular pós instrumentação com Peeso #90 (Número 2)

## 6. Obturação

Todos os canais radiculares foram obturados empregando-se a técnica do cone único. A única variável intencional entre os dois subgrupos experimentais foi o cimento selador utilizado: no primeiro subgrupo empregou-se o selador epóxi-resinoso AH Plus®, e no segundo aplicou-se o biocerâmico BioRoot™ RCS.

Nos espécimes pertencentes ao grupo controlo positivo, foi realizada a obturação apenas com o cone de guta-percha. Após a instrumentação e padronização do diâmetro apical com as brocas Peeso ISO 70, os canais foram apenas irrigados com hipoclorito de sódio a 5,25 % e EDTA a 17%. Desta forma, o grupo controlo positivo funcionou como referência para o maior grau possível de infiltração apical, validando a sensibilidade do método utilizado na avaliação da vedação.

Nos espécimes do grupo controlo negativo, os canais radiculares foram completamente obturados utilizando cones de guta-percha e o cimento endodôntico BioRoot™ RCS, recorrendo à técnica de cone único (Figura 9 e 10). O cimento foi introduzido no interior do canal com auxílio de um cone de guta-percha compatível com o diâmetro final da instrumentação (ISO 70), seguido de leve compactação digital, assegurando o preenchimento tridimensional do espaço do canal. Habitualmente, nesta fase, o selamento externo das superfícies radiculares é realizado com verniz em todo o dente, com o objetivo de impedir a penetração do corante através de vias não apicais durante o ensaio de infiltração. No entanto, durante o processo laboratorial, este passo foi desatentamente omitido.



Figura 9 - Mesa preparada para obturação dos espécimes com fotopolimerizador, lamparina, placa de vidro, EDTA, cones de papel, condensador, resina composta e o cimento BioRoot™ RCS



Figura 10- Cimento endodôntico BioRoot™ RCS



Figura 11 - Cimento endodôntico AH Plus® Jet

Considerando que os preparos apicais foram realizados com brocas Peeso ISO 70 (0,70 mm) e ISO 90 (0,90 mm), que produzem canais com paredes paralelas e sem conicidade, foi necessário adaptar manualmente os cones de guta-percha utilizados na obturação. A técnica escolhida foi a de cone único, sendo selecionados cones de guta-percha com conicidade mínima (0,02), de forma a permitir o seu ajuste ao diâmetro apical obtido.

Cada cone principal foi cortado progressivamente na extremidade apical com lâmina de bisturi nº 15, até atingir um diâmetro que permitisse encaixe passivo e firme na região apical, sem extrusão para além do forame. O diâmetro apical final dos cones foi verificado com uma régua calibradora endodôntica (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça), assegurando a correspondência com o diâmetro da broca Peeso utilizada no preparo (0,70 mm ou 0,90 mm). Este ajuste foi realizado cuidadosamente para garantir uma adaptação precisa à região de constrição apical e maximizar a eficácia do selamento tridimensional promovido pelo cimento obturador.

Em seguida, cada cone foi marcado com o comprimento de trabalho previamente determinado e revestido, em toda a sua extensão, pelo cimento selador recém-misturado de acordo com as especificações do fabricante.



Figura 12 - Manipulação do cimento endodôntico BioRoot™ RCS

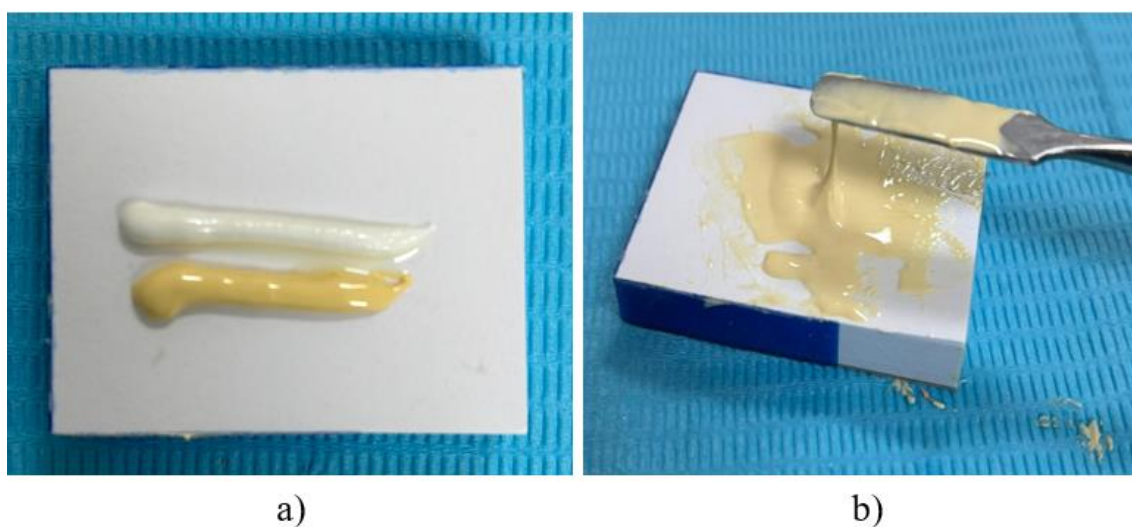


Figura 13 - Manipulação do cimento endodôntico AH Plus®: a) pasta A (âmbar) e de pasta B (branca) de material de selamento do canal radicular AH Plus; b) Cimento em consistência homogênea

Com o canal preenchido de cimento, o cone foi introduzido suavemente até atingir a marca de referência externa. Para favorecer a penetração do selador nos espaços irregulares, o cone foi retirado imediatamente, o excesso de cimento removido das paredes coronárias e, então, aplicou-se uma fina camada adicional exclusivamente no terço apical. O cone voltou a ser inserido até o comprimento de trabalho, assim tem-se o contato íntimo entre guta-percha, cimento e dentina.

Na etapa seguinte, o excesso de guta-percha coronário foi seccionado a 1 mm da entrada do canal com um plugger aquecido. O remanescente foi então condensado verticalmente por aproximadamente 30 segundos, utilizando o mesmo plugger ainda quente, a fim de reduzir possíveis vazios e promover uma vedação tridimensional (Figuras 14,15 e 16).

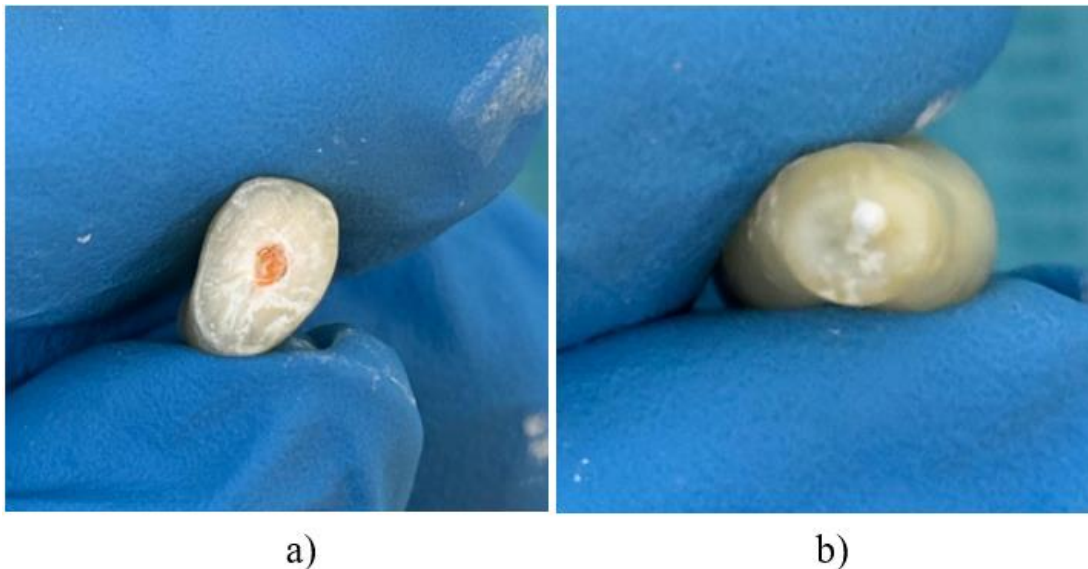


Figura 14 - a) Vista coronal da obturação com cone de guta-percha e cimento; b) Vista apical da obturação com cone de guta-percha e cimento



Figura 15 - a) Vista coronária do espécime; b) Vista do selamento coronário com Resina flúida Tetric Evoflow™

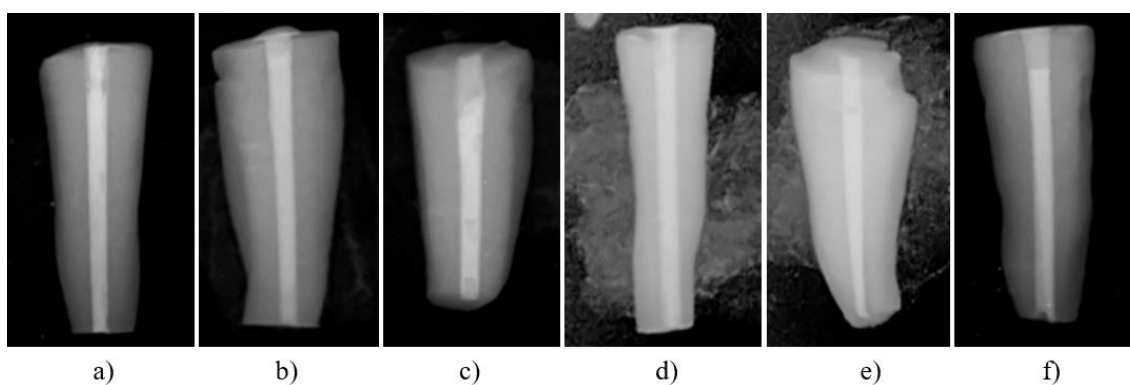


Figura 16 - Controlos Radiográficos em vista vestibular: a) Grupo G1S1; b) Grupo G1S2; c) Grupo G2S1; d) Grupo G2S2; e) Controlo Positivo; f) Controlo Negativo

Por fim, cada espécime foi limpo externamente para remoção de resíduos de cimento e armazenado em estufa a 37 °C e 100 % de umidade durante sete dias, período recomendado para a completa presa dos seladores e padronização das condições antes das avaliações subsequentes (Figura 17). Cada espécime foi posicionado e estabilizado individualmente em tubos plásticos de polipropileno.



Figura 17 - Espécimes armazenados em estufa incubadora

## **7. Infiltração apical de corante**

Após o período de incubação, todos os subgrupos foram retirados da estufa. As raízes foram cuidadosamente revestidas com três camadas de verniz, aplicadas nas suas paredes externas ao longo de toda a extensão, excetuando os dois milímetros finais da região apical (Figura 18).



Figura 18 - Preparo dos espécimes para adição do corante

Para manter a identificação individual dos espécimes, cada raiz foi acondicionada num tubo de plástico Eppendorf (QingUG; Berlim, Alemanha), devidamente rotulado com o número previamente atribuído.

Após a completa secagem do verniz, os espécimes foram individualmente inseridos em tubos Eppendorf e em seguida, preenchidos com solução de azul de metileno a 1% (Figura 19) (preparada pelo Departamento de Microbiologia do IUEM), garantindo que as raízes ficassem totalmente submersas.



Figura 19- Azul de Metileno 1% utilizado para infiltração

A disposição das raízes nos tubos foi cuidadosamente realizada, posicionando os ápices voltados para o topo do recipiente. Esta orientação teve como objetivo aproveitar a ação da gravidade para potenciar a penetração do corante (Figura 20).

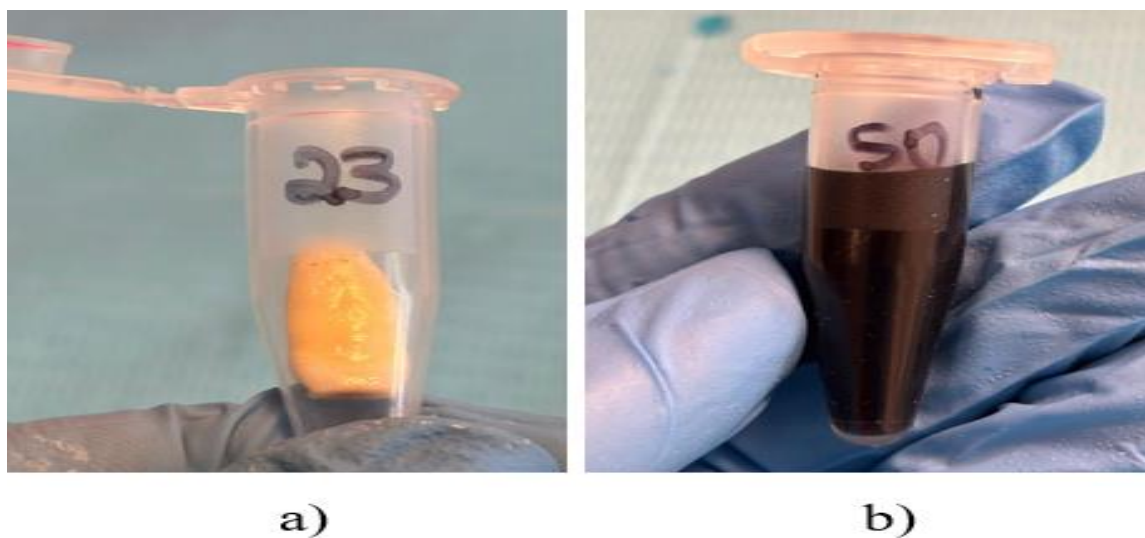


Figura 20 - a) Inserção da raiz no tubo, com o ápice orientado para a extremidade superior; b) Após adição do corante, observando-se a total submersão da raiz na solução

Depois de confirmada a submersão completa das raízes na solução corante, os espécimes foram armazenados durante um período de 72 horas dentro da estufa no laboratório de Materiais Dentários do IUEM, permitindo o tempo necessário para que ocorresse a infiltração do corante (Figura 21).

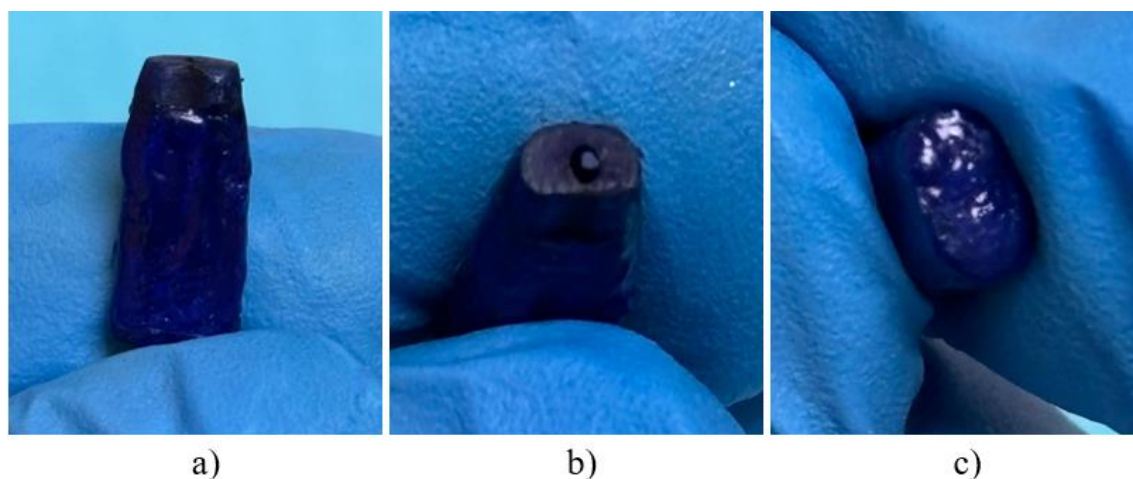


Figura 21 - a) Espécime após imersão em azul de metileno em vistas; b) Vista apical; c) Vista coronal

## 8. Secção dos espécimes

Decorrido o tempo estipulado para a infiltração com o corante azul de metileno a 1%, as raízes foram cuidadosamente lavadas sob água corrente durante cerca de dois minutos. Em seguida, procedeu-se à remoção do verniz previamente aplicado nas superfícies externas, utilizando para o efeito curetas periodontais anteriores 1-2 (Hu-Friedy Mfg. Co. LLC; Frankfurt, Alemanha) (Figura 22).

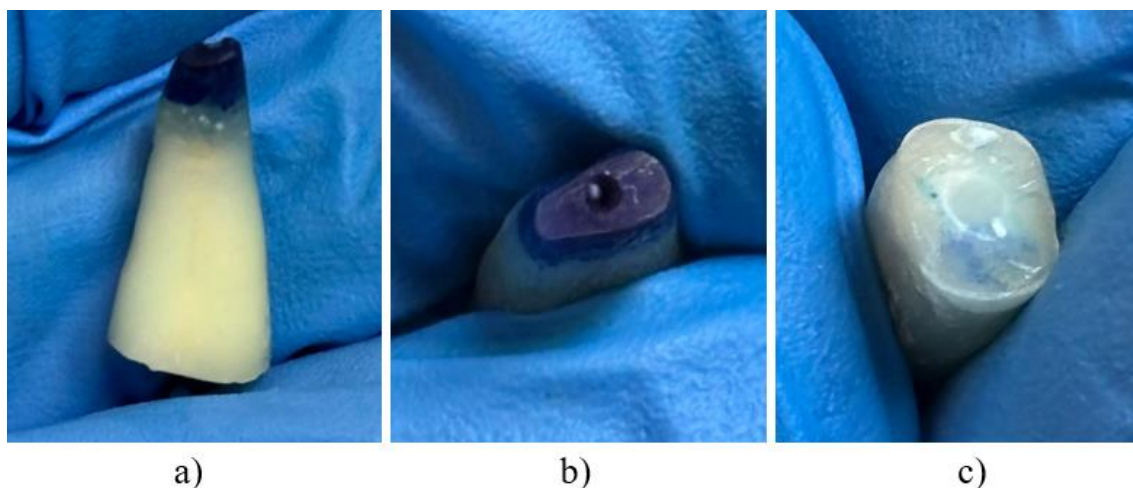


Figura 22 - a) Espécime após remoção do verniz com curetas periodontais; b) Vista apical; c) Vista coronal

De seguida, as raízes foram posicionadas em suportes próprios para corte em micrótopo e fixadas com cera adesiva, formando blocos adequados para a secção. O alinhamento dos espécimes foi cuidadosamente realizado de modo a manter o longo eixo da raiz perpendicular à superfície de corte, assegurando assim o paralelismo entre as secções obtidas (Figura 23).



Figura 23 - Espécime incorporado em cera adesiva: a) Vista proximal; b) Vista Vestibular

O corte das raízes em secções transversais foi realizado utilizando um micrótomo de precisão (Accutom-50; Struers, Cleveland, EUA), configurado para operar a uma velocidade constante de 0,375 mm/s e uma rotação de 3000 rpm, sob irrigação contínua com água destilada para evitar superaquecimento e danos aos espécimes. A espessura de corte foi programada no micrótomo para produzir secções com aproximadamente 1 mm de espessura, garantindo uniformidade e padronização das amostras para posterior análise (Figura 24). Essa parametrização precisa permitiu obter fatias regulares, essenciais para a reprodutibilidade dos ensaios morfológicos e de infiltração.

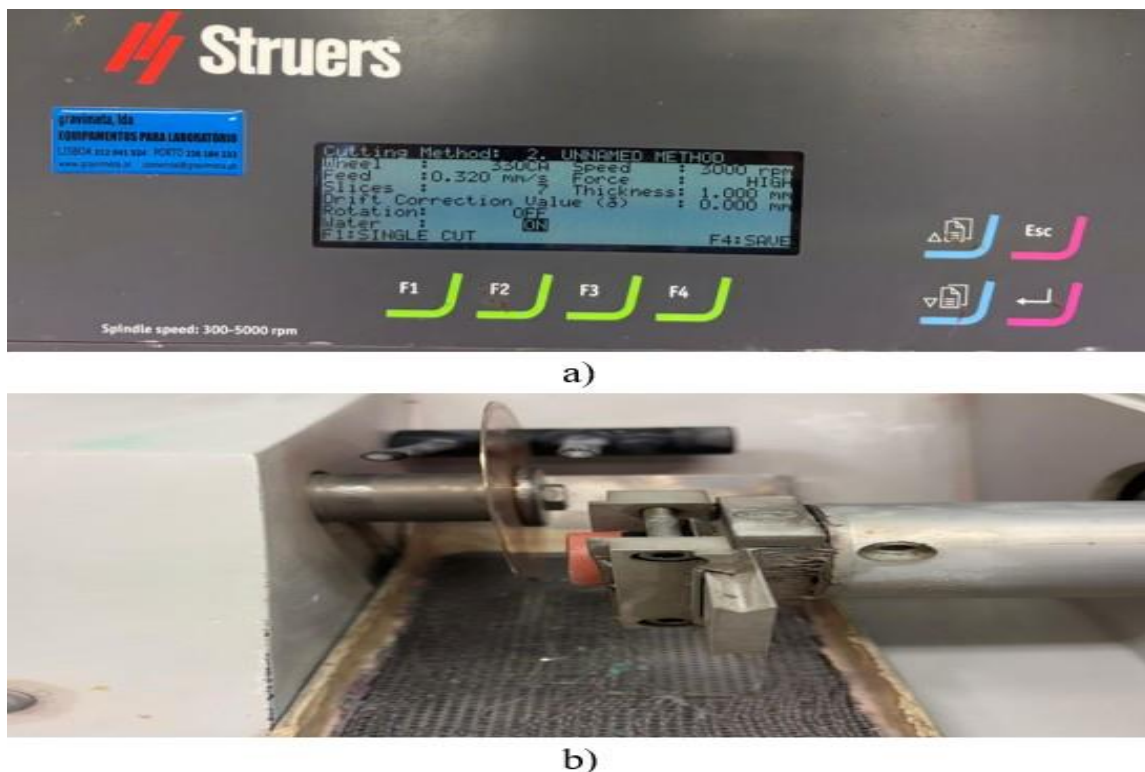


Figura 24 - Secção do espécime realizada no micrótomo: a) Perspectiva de orientação do corte; b) Configurações utilizadas

### 9. Análise e Quantificação da Infiltração Apical

Após o corte, todas as secções obtidas foram organizadas sequencialmente e montadas em lâminas microscópicas (Figura 25) utilizando Entellan (Merck, Darmstadt, Alemanha) como meio de fixação (Sliu-005-050; Lab Box, Barcelona, Espanha). Cada lâmina foi devidamente identificada com o número do espécime, o subgrupo correspondente e o número da secção respetiva.



Figura 25 - Resultado da visualização em corte transversal das raízes

As secções foram examinadas ao microscópio clínico (Extaro 300; Zeiss Meditec, Jena, Alemanha), com uma ampliação de 12,5x, sendo posteriormente fotografadas através da aplicação Zeiss Observe, utilizando um iPhone (15ª geração; Apple Distribution International, Cork, Irlanda). Em cada imagem obtida, foi analisada a presença de corante nas interfaces entre a guta-percha e o cimento, bem como entre o cimento e a dentina, ao longo dos canais radiculares, na face apical do corte. A infiltração foi classificada como “positiva” (Figura 26) quando se verificava a presença de corante, e como “negativa” (Figura 27) na sua ausência. As imagens correspondentes às secções de todos os espécimes incluídos na amostra deste estudo encontram-se disponíveis no capítulo “Anexos”. De seguida, procedeu-se à construção de uma tabela no Microsoft Excel, com o objetivo de sistematizar os dados recolhidos. Na referida tabela, os casos classificados como “positivos” foram codificados com o valor 1, enquanto os casos “negativos” foram representados pelo valor 0. A análise estatística dos dados foi efetuada com recurso ao software SPSS, recorrendo-se ao teste ANOVA fatorial para a avaliação dos resultados.

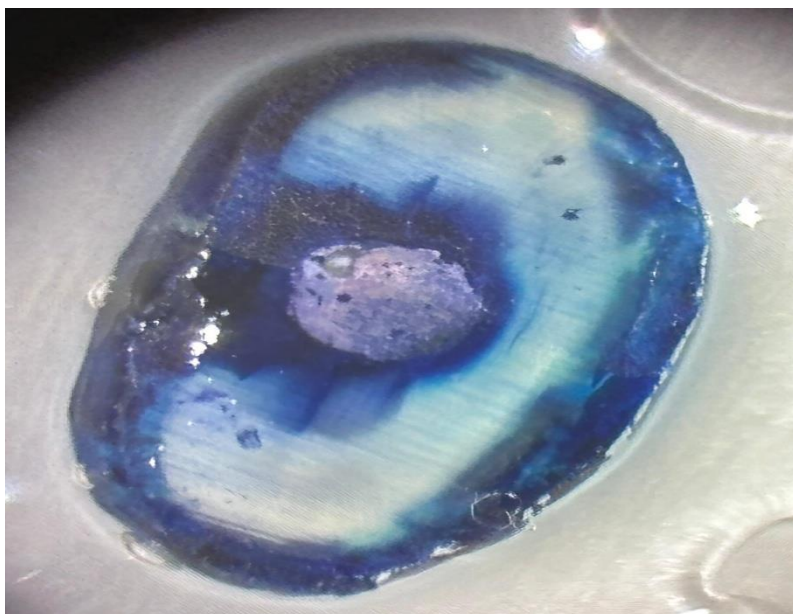


Figura 26 - Visualização microscópica de infiltração positiva nos espécimes

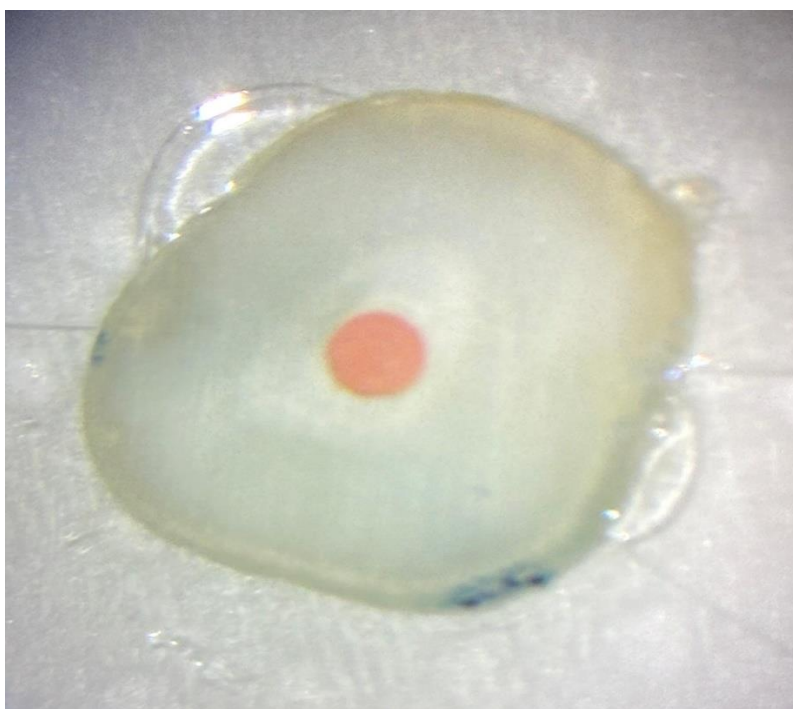


Figura 27 - Visualização microscópica de infiltração negativa nos espécimes



#### 4. RESULTADOS

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do selamento apical de dois cimentos endodônticos distintos (BioRoot™ RCS e AH Plus®) em dentes humanos com ápices artificialmente alargados, recorrendo à técnica de infiltração apical.

As medições da infiltração de corante em cada subgrupo experimental foram analisadas com base na média ponderada dos valores obtidos. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise estatística através do teste ANOVA fatorial, com o intuito de determinar diferenças significativas entre os subgrupos. Foi considerado estatisticamente significativo um valor de  $p$  inferior a 0,05.

Com respeito aos grupos, o G1 foi o que teve menor infiltração com uma média de 4,35mm. O G2 teve uma média de infiltração de 6,60mm. Estas diferenças foram estatisticamente significativas como pode ser observado na Tabela 2, indicando que o aumento do diâmetro apical está associado a uma maior infiltração de corante.

<i>Grupo</i>	<i>Média de infiltração (mm)</i>	<i>Valor de p</i>
<i>G1 (0,70 mm)</i>	4,35	
<i>G2 (0,90 mm)</i>	6,60	0,008*

Tabela 2 - Comparação das médias de infiltração apical entre os grupos experimentais G1 e G2

O *boxplot* (Gráfico 1) confirma os dados numéricos, demonstrando uma mediana mais baixa e menor dispersão no grupo G1, enquanto o grupo G2 apresenta mediana mais elevada e maior amplitude de variação, refletindo maior instabilidade e variabilidade dos valores de pigmentação.

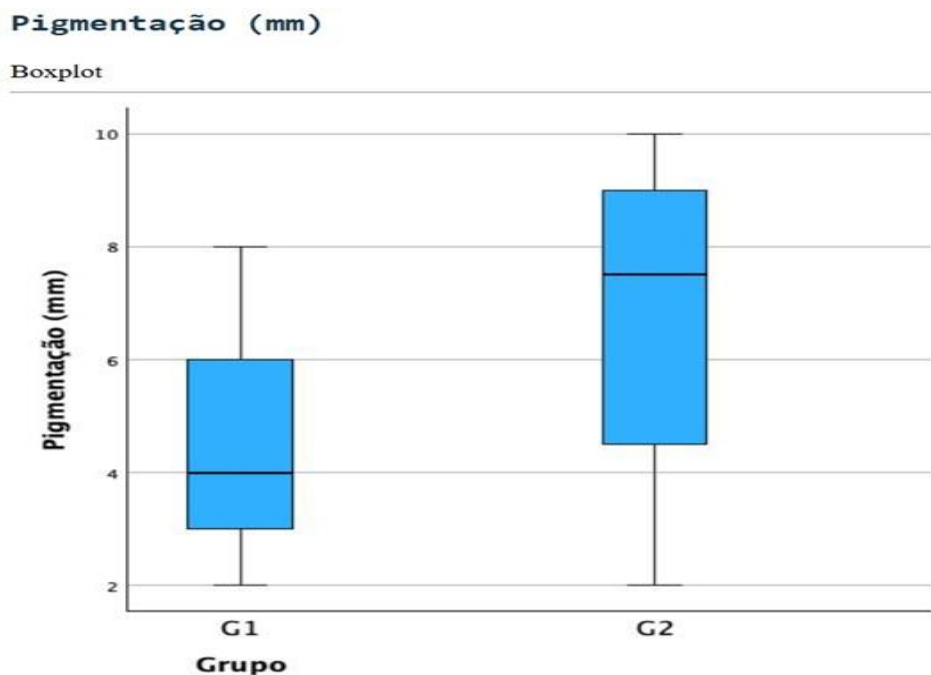


Gráfico 1 - Boxplot indicador da mediana e distribuição da amostra de cada grupo

Em relação a variável cimento, o que apresentou menor infiltração apical foi o S1 (AH Plus) com uma média de 4,65 mm, enquanto o S2 (BioRoot™ RCS) registou média de 6,30 mm. Apesar da diferença numérica observada, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ( $p = 0,085$ ), demonstrando que ambos os materiais apresentam comportamento semelhante em termos de selamento apical (Tabela 3).

<i>Subgrupo</i>	<i>Média de infiltração (mm)</i>	<i>Valor de p</i>
S1 (AH Plus®)	4,65	
S2 (BioRoot™ RCS)	6,30	0,085

Tabela 3 - Comparação das médias de infiltração apical entre os subgrupos S1 e S2 (tipos de cimento)

Em relação aos subgrupos analisados, o subgrupo G1S1 apresentou a menor média de infiltração apical (3,7 mm). Por outro lado, o subgrupo G2S2 exibiu a maior média (7,6 mm), sendo essas diferenças estatisticamente significativas. Nos restantes subgrupos, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre eles (Tabela 4).

<b>Grupo</b>	<b>Espécime</b>	<b>Técnica de Obturação/Diâmetro Apical</b>	<b>Pigmentação em mm</b>	<b>Média de mm</b>
Grupo 1 - Subgrupo 1 (G1S1)	6	Cone Único + Cimento Resinoso AH Plus®/ 0,70 mm	4mm	3,7mm
	7		2mm	
	15		3mm	
	33		3mm	
	42		7mm	
	47		2mm	
	61		7mm	
	64		3mm	
	66		4mm	
80	2mm			
Grupo 1 - Subgrupo 2 (G1S2)	2	Cone Único + Cimento Bioceramico BioRoot™ RCS/0,70 mm	6mm	5mm
	16		6mm	
	25		5mm	
	34		3mm	
	36		5mm	
	37		6mm	
	41		3mm	
	57		6mm	
	62		2mm	
69	8mm			
Grupo 2 - Subgrupo 1 (G2S1)	19	Cone Único + Cimento Resinoso AH Plus®/0,90 mm	9mm	5,6mm
	20		5mm	
	38		8mm	
	45		2mm	
	46		9mm	
	52		6mm	
	59		3mm	
	65		2mm	
70	9mm			

	78		3mm	
Grupo 2 – Subgrupo 2 (G2S2)	5	Cone Único + Cimento Bioceramico BioRoot™ RCS/0,90 mm	6mm	7,6mm
	9		8mm	
	10		9mm	
	13		7mm	
	21		10mm	
	24		8mm	
	50		6mm	
	53		9mm	
	63		9mm	
	74		4mm	

Tabela 4 - Resultados comparativos das médias de infiltração apical dos subgrupos a estudo (mm=milímetros)

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Discussão de Materiais e Métodos

O presente estudo foi delineado como uma investigação laboratorial *in vitro* para comparar a capacidade de selamento apical de dois cimentos endodônticos com características distintas – o resinoso AH Plus® e o biocerâmico BioRoot™ RCS – em dentes humanos monorradiculares com ápice artificialmente aberto (0,70 mm e 0,90 mm).

A escolha do modelo experimental *in vitro* justifica-se pelo facto de proporcionar um elevado nível de controlo sobre variáveis experimentais críticas, tais como, dimensão apical, técnica de obturação, sequência e volume de irrigação, condições de armazenamento e tempo de exposição ao corante, tornando-o particularmente adequado para estudos comparativos de selamento apical. A possibilidade de padronizar estes parâmetros reduz a variabilidade biológica inerente a estudos clínicos e permite isolar o efeito do fator em estudo, neste caso, o tipo de cimento selador e o diâmetro apical, aumentando a sensibilidade para detetar diferenças entre grupos. Esta lógica é consistente com o levantamento crítico da literatura sobre estudos de *micro-leakage*, que reconhece os ensaios *in vitro* como etapas pré-clínicas essenciais para avaliação de materiais endodônticos, apesar das limitações de extrapolação direta para a prática clínica (Sah et al., 2024; Pommel et al., 2001).

A escolha de dentes monorradiculares com anatomia tipo I de Vertucci e curvaturas reduzidas visa minimizar variação anatómica que poderia condicionar a instrumentação e a adaptação do material obturador (Alkahtany et al., 2024; Motamedi et al., 2021).

A padronização do comprimento de trabalho e a marcação a 14 mm reduzem a heterogeneidade de preparação que, de outro modo, complicaria a comparação entre grupos. Procedimentos de exclusão (reabsorções, calcificações, fraturas) e a aleatorização para grupos experimentais reforçam a validade interna do estudo, já que asseguram homogeneidade morfológica e distribuição equilibrada das covariáveis.

A criação de diâmetros apicais bem definidos (0,70 mm e 0,90 mm) por meio de brocas Peeso permite simular situações clínicas específicas (rizogénese incompleta ou alargamento iatrogénico) e avaliar o desempenho dos materiais em condições de ausência de constrição apical. Esta padronização é metodologicamente defensável: ao controlar a morfologia apical, o estudo isola a influência exclusiva do material selador sobre a

infiltração apical, reduzindo o ruído experimental associado à variabilidade anatômica natural. Ensaios similares que manipulam o calibre apical têm mostrado que o tamanho do forame influencia significativamente a tendência para microinfiltração e extrusão de obturador (Hachmeister et al., 2002; Nikhil et al., 2015).

Esta técnica é particularmente adequada para comparar seladores de elevada fluidez, como BioRoot™ RCS com seladores resinosos (AH Plus®) porque minimiza a variabilidade técnica introduzida por técnicas termoplásticas ou condensação lateral (Lim et al., 2020; Alkahtany et al., 2024).

Contudo, deve reconhecer-se que outras técnicas (condensação vertical a quente, termoplastificação) podem alterar a adaptação e a ocorrência de vazios, e por isso constituem alternativas válidas para estudos complementares. Estudos comparativos documentam que a técnica de obturação e a interação selante-técnica podem modular os resultados de *micro-leakage* (Angerame et al., 2020).

A inclusão de grupos controlo positivo e negativo permitiu validar a sensibilidade e a fiabilidade do método de infiltração, assegurando que o modelo experimental era capaz de detetar tanto a presença como a ausência de passagem de corante. O controlo positivo apresentou infiltração total, conforme esperado, confirmando a eficácia do ensaio em identificar situações de selamento deficiente.

Contudo, observou-se presença de infiltração apical no grupo controlo negativo, resultado que não era esperado, uma vez que este grupo deveria permanecer completamente impermeável. Este achado sugere uma falha técnica no processo de impermeabilização dos espécimes, possivelmente relacionada com uma aplicação incompleta do verniz impermeabilizante na superfície externa das raízes antes da imersão no corante.

É plausível que pequenas áreas sem cobertura tenham permitido a penetração do corante por via externa, produzindo falsos positivos de infiltração. Ainda assim, a execução de todos os procedimentos por um único operador contribuiu para reduzir a variabilidade interindividual e aumentar a reprodutibilidade dos resultados, reforçando a consistência do protocolo experimental.

A avaliação do selamento apical constituiu um dos objetivos centrais deste estudo. Para tal, optou-se pelo método de penetração de corante com azul de metileno a 1%, dada a

sua simplicidade, sensibilidade, fiabilidade e relação custo-eficácia, permitindo a deteção de *microgaps* e a quantificação linear da infiltração apical. Embora a análise possa ser realizada por secções longitudinais ou transversais dos canais radiculares, neste estudo optou-se pelos cortes transversais, por se considerar que os cortes longitudinais apresentam maior risco de erro aleatório na trajetória do corte, podendo expor zonas do canal de forma irregular e comprometer a precisão da medição, situação frequentemente descrita na literatura como uma verdadeira “roleta russa” metodológica. Assim, os cortes transversais garantiram uma avaliação mais objetiva, reproduzível e controlada da extensão da infiltração, permitindo medições mais fiáveis sob microscopia ótica. Esta abordagem é amplamente utilizada em investigações *in vitro* iniciais de selamento apical e fornece dados reproduzíveis que permitem comparar o desempenho relativo dos diferentes materiais testados (Torabinejad et al., 2002; Wu et al., 2000).

Apesar das suas vantagens, este método apresenta algumas limitações, sobretudo quando comparado com técnicas mais avançadas. Ensaio bacterianos, utilizando por exemplo *Enterococcus faecalis*, simulam condições clínicas mais próximas da realidade, refletindo o comportamento do selante perante fatores biológicos ativos, mas requerem manipulação microbiológica complexa e maior tempo de execução (Stoll et al., 2013). Testes de penetração de glicose permitem elevada sensibilidade e quantificação precisa da passagem de moléculas através do selante, exigindo, contudo, desenho experimental mais laborioso e equipamentos especializados (Xu et al., 2004). A microtomografia computadorizada (micro-CT), por seu lado, oferece avaliação tridimensional não destrutiva, permitindo análise volumétrica detalhada de vazios e adaptação do material ao canal radicular, sendo atualmente considerada uma técnica de referência em estudos avançados. No entanto, o seu elevado custo e necessidade de software de processamento limitam a sua utilização em ensaios exploratórios (Peters et al., 2010).

Após a extração, todos os dentes foram cuidadosamente limpos de resíduos de tecido mole e cálculos com curetas periodontais, lavados em água destilada e armazenados em solução salina fisiológica a 0,9 % (NaCl) a 37 °C até à sua utilização experimental. Os espécimes permaneceram hidratados durante todo o período de preparação, sendo o conforme recomendado na literatura para evitar alterações das propriedades físico-químicas e mecânicas da dentina (Goodis et al., 1991; De-Deus et al., 2022). Durante este

período, as soluções de armazenamento foram substituídas semanalmente para prevenir contaminação microbiana e variações de pH.

Antes da instrumentação, os dentes foram mantidos a temperatura ambiente de modo a evitar choques térmicos e permitir o equilíbrio higroscópico da estrutura dentinária. A manutenção dos espécimes hidratados e o controlo rigoroso da temperatura, meio e tempo de armazenamento visaram preservar a integridade dos túbulos dentinários e as propriedades mecânicas da dentina, assegurando a reprodutibilidade e validade dos resultados do ensaio de infiltração apical (De-Deus et al., 2022).

## **5.2. Discussão de Resultados**

Os resultados deste estudo evidenciaram que nenhum dos subgrupos testados alcançou selamento apical total. Esta constatação está em conformidade com a literatura, que reconhece que tanto os cimentos resinosos como os biocerâmicos apresentam limitações intrínsecas na eliminação completa da passagem de fluidos, corantes ou microrganismos através da interface dente–cimento–cone (Wu et al., 2000; Sagsen et al., 2011).

De acordo com o teste post hoc de Tukey verificou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos G1 e G2 ( $p = 0,008$ ), o que indica que quanto maior o diâmetro apical, maior a infiltração observada. Em contrapartida, a comparação entre os cimentos AH Plus® e BioRoot™ RCS não revelou diferença estatisticamente significativa ( $p = 0,085$ ). Estes resultados sugerem que, nas condições experimentais testadas, a variação do calibre apical teve impacto significativo na infiltração, enquanto o tipo de cimento não influenciou de forma significativa o selamento apical.

O desempenho superior do AH Plus® em termos de médias de infiltração apical, pode ser explicado pelas suas propriedades físico-químicas. O AH Plus® consolidou-se ao longo das últimas décadas como o “*gold standard*” dos cimentos endodônticos no que se refere à capacidade de selamento. Diversos estudos comparativos demonstraram a sua baixa solubilidade, estabilidade dimensional e adesão efetiva às paredes dentinárias, características que se traduzem numa menor tendência para formação de microgaps e infiltração apical (Zhang et al., 2009; Viapiana et al., 2014). Além disso, a sua capacidade de formar um filme fino e estável permite uma adaptação íntima ao cone e às

irregularidades do canal, favorecendo o bloqueio dos espaços disponíveis para infiltração (Ørstavik et al., 2001).

Diversos estudos laboratoriais corroboram estas observações. Elyassi et al. (2019) reportaram solubilidade nula (0,0%) para o AH Plus® após 24 horas de imersão em água, enquanto o BioRoot™ RCS apresentou solubilidade de 13,1% ( $p < 0,05$ ). De forma semelhante, Urban (2018) e Mert & Gençoğlu (2024) verificaram maior porosidade, absorção de água e solubilidade no BioRoot™ RCS, fatores que comprometem a sua estabilidade dimensional. Estes achados explicam a maior pigmentação média observada no grupo G2S2 (BioRoot™ RCS / 0,90 mm), confirmando a influência cumulativa entre o diâmetro apical e a natureza do cimento.

A variável diâmetro apical mostrou-se decisiva para a infiltração. A média de pigmentação foi de 4,35 mm para canais de 0,70 mm e 6,6 mm para canais de 0,90 mm, evidenciando uma tendência de maior infiltração em canais com ápice alargado. Embora nem todas as comparações tenham alcançado significância estatística, a diferença entre G1S1 (AH Plus®/0,70 mm) e G2S2 (BioRoot™ RCS/0,90 mm) foi significativa ( $p = 0,02$ ), sugerindo que ambos os fatores atuam de forma interdependente.

A literatura endodôntica reforça esta observação: a geometria apical e as propriedades físico-químicas do selador interagem de modo determinante no desempenho do selamento (Wu et al., 2000; Holland et al., 2005). Wu et al. (1995) e Holland et al. (2005) demonstraram que canais com diâmetros apicais maiores exibem microinfiltração significativamente superior, devido à perda da constrição apical e ao aumento da permeabilidade do selamento. Laslami et al. (2018) obtiveram resultados semelhantes, observando que o aumento do diâmetro apical, embora nem sempre estatisticamente significativo, está associado a tendência de infiltração crescente.

Esta relação pode ser explicada pela espessura do filme de cimento obturador: em canais de menor calibre, o filme é mais fino e uniforme, favorecendo melhor adaptação às paredes dentinárias e redução da permeabilidade apical (Mamootil & Messer, 2007; Kuçi et al., 2014). Já em canais de diâmetro maior, o volume de cimento necessário aumenta, originando filmes mais espessos e irregulares, com risco acrescido de bolhas, descontinuidades e falhas de coesão interna (Al-Haddad et al., 2015; Huang et al., 2017;

Celikten et al., 2015). Tais fatores justificam o maior valor médio de infiltração registrado para o grupo G2 (0,90 mm), onde o calibre apical mais amplo dificultou a formação de uma película contínua e homogênea.

Do ponto de vista clínico, a influência do diâmetro apical é particularmente relevante em casos de rizogênese incompleta, reabsorções apicais ou alargamentos iatrogênicos, nos quais o forame apical permanece aberto. Nestes cenários, a previsibilidade do selamento depende tanto das propriedades do cimento obturador como da adoção de estratégias complementares, incluindo o uso de materiais biocerâmicos bioativos capazes de induzir a formação de uma barreira apical mineralizada (Torabinejad & Chivian, 1999; Abada et al., 2022). Além disso, protocolos regenerativos podem favorecer a revascularização e a cicatrização periapical, desde que o diâmetro apical seja suficientemente amplo para permitir migração celular e vascularização adequada (Chen et al., 2017; Kahler & Rossi-Fedele, 2016).

Em síntese, os resultados deste estudo indicam que o aumento do diâmetro apical compromete significativamente o selamento. Embora não se tenham verificado diferenças significativas entre os materiais, o AH Plus® manteve um desempenho ligeiramente superior, em conformidade com a literatura que o reconhece como referência em capacidade de vedação.

No entanto, é importante reconhecer as limitações metodológicas. O ensaio de penetração de corante, embora amplamente utilizado, apresenta limitações importantes: a baixa tensão superficial do azul de metileno permite infiltrações em microespaços que não representam a realidade clínica, e a ausência de fatores biológicos (pressão pulpar, irrigação dinâmica, resposta inflamatória, fluidos periapicais) restringe a extrapolação dos resultados para o contexto *in vivo* (De-Deus et al., 2022).

Assim, recomenda-se a realização de estudos longitudinais *in vivo* e o recurso a métodos complementares, como microtomografia computadorizada (micro-CT), testes de infiltração bacteriana e análises de solubilidade, de modo a obter uma visão mais abrangente do comportamento clínico dos cimentos endodônticos ao longo do tempo.

### 5.3. Limitações

A realização deste estudo deparou-se com algumas limitações que importa reconhecer. Destacam-se principalmente a dimensão da amostra, a heterogeneidade intra-grupo, o método de avaliação da pigmentação e o carácter laboratorial do modelo experimental utilizado.

Relativamente à amostra, o número de espécimes disponíveis foi limitado, o que reduziu o poder estatístico da análise. Embora tenham sido aplicados critérios de inclusão uniformes, a amostra global distribuiu-se por vários grupos e subgrupos, diminuindo ainda mais a representatividade de cada condição experimental. Este facto pode ter condicionado a deteção de diferenças adicionais entre grupos, conduzindo a potenciais erros. Estudos futuros com amostras mais alargadas e equilibradas entre grupos poderão conferir maior robustez às conclusões e permitir extrapolações mais seguras para a realidade clínica.

Para além das limitações já referidas, importa destacar também algumas restrições relacionadas com os cimentos endodônticos avaliados. Cada cimento possui características físico-químicas e biológicas distintas, que podem influenciar não apenas a infiltração observada, mas também o desempenho global no interior do canal radicular (Kang et al., 2021; Mahmoud et al., 2022).

Comparar diretamente esses cimentos em condições laboratoriais padronizadas pode ter favorecido um em detrimento do outro, pois cada material apresenta seu melhor desempenho em ambientes específicos. Dessa forma, os resultados obtidos não refletem necessariamente o desempenho ideal de cada cimento, mas sim a resposta dentro do contexto experimental estabelecido.

Em síntese, embora estas limitações não invalidem a relevância dos resultados, devem ser consideradas na sua interpretação. Reconhecê-las permite contextualizar os achados e fundamentar o desenho de futuras investigações, que deverão incluir amostras mais alargadas, métodos de análise cromática mais sensíveis e abordagens *in vivo*, de modo a aproximar os resultados laboratoriais da realidade clínica.

#### **5.4.Perspetivas e Estudos Futuros**

Adicionalmente, recomenda-se a comparação de novos cimentos bioativos e híbridos, que associem propriedades de adesão melhoradas à bioatividade e à resistência à dissolução. Estudos *in vivo* de longa duração poderão ainda esclarecer a resposta biológica dos tecidos periapicais frente a diferentes materiais, bem como o impacto do diâmetro apical na cicatrização e na remodelação óssea.

Por fim, investigações com maior tamanho amostral e modelos experimentais mais complexos, incluindo variações de técnicas de obturação e protocolos de irrigação, permitirão confirmar os resultados obtidos e estabelecer diretrizes clínicas mais precisas para a seleção do cimento e o controlo do diâmetro apical, contribuindo para uma endodontia mais previsível e baseada em evidência científica.

## 6. CONCLUSÃO

O presente estudo *in vitro* teve como objetivo avaliar o selamento apical proporcionado por dois cimentos endodônticos — o resinoso AH Plus® e o biocerâmico BioRoot™ RCS — aplicados pela técnica de cone único em dentes com ápices artificialmente alargados e diâmetros apicais padronizados (0,70 mm e 0,90 mm).

Constatou-se que nenhum dos subgrupos experimentais alcançou selamento apical absoluto.

Relativamente à hipótese 1, que comparava os cimentos AH Plus® e BioRoot™ RCS, os resultados levaram à aceitação da hipótese nula ( $H_0$ ), indicando ausência de diferenças estatisticamente significativas na infiltração apical entre ambos os materiais. Assim, nas condições testadas, ambos os cimentos mostraram comportamento semelhante em termos de selamento.

A Hipótese 2 resultou na aceitação da hipótese alternativa ( $H_1$ ), uma vez que foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os diâmetros apicais de 0,70 mm e 0,90 mm, independentemente do cimento obturador utilizado.

As Hipóteses 3,4,5 e 6 foram igualmente aceites na hipótese nula ( $H_0$ ).

Por outro lado, a Hipótese 7 revelou uma diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre os subgrupos extremos G1S1 (AH Plus®/0,70 mm) e G2S2 (BioRoot™ RCS/0,90 mm), conduzindo à rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ) e aceitação da hipótese alternativa ( $H_1$ ).



## 7. BIBLIOGRAFIA

American Association of Endodontists. (2020). *Glossary of endodontic terms* (9th ed.).

American Association of Endodontists. <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/>

American Association of Endodontists (AAE) & European Society of Endodontology

(ESE). (2025). *Periapical diagnoses*. [https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2025/07/PeriapicalTable\\_ForWeb07172025.pdf](https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2025/07/PeriapicalTable_ForWeb07172025.pdf)

Abada, H. M., Hashem, A. a. R., Abu-Seida, A. M., & Nagy, M. M. (2021). The effect of changing apical foramen diameter on regenerative potential of mature teeth with necrotic pulp and apical periodontitis. *Clinical Oral Investigations*, 26(2), 1843–1853. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04159-1>

Abbott, P. (2023). Indications for root canal treatment following traumatic dental injuries to permanent teeth. *Australian Dental Journal*, 68(S1). <https://doi.org/10.1111/adj.12989>

Al-Haddad, A., Kasim, N. H. A., & Aziz, Z. a. C. A. (2015). Interfacial adaptation and thickness of bioceramic-based root canal sealers. *Dental Materials Journal*, 34(4), 516–521. <https://doi.org/10.4012/dmj.2015-049>

Alkahtany, S. M., AlHussain, A. A., AlMthen, H. A., AlDokhi, H. D., Bukhary, S. M., Almohaimede, A. A., & AlNeshmi, B. (2024). Obturation quality of bioceramic sealers with different obturation techniques: a micro-CT evaluation. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82481-w>

Al-Rayesse, R., Al-Jabban, O., Eid, A., Kabtoleh, A., Addiego, F., Mancino, D., Haikel, Y., & Kharouf, N. (2024). Influence of bioceramic cements on the quality of obturation of the immature tooth: an in vitro microscopic and tomographic

study. *Bioengineering*, 11(3), 213.

<https://doi.org/10.3390/bioengineering11030213>

Álvarez-Vásquez, J. L., Erazo-Guijarro, M. J., Domínguez-Ordoñez, G. S., & Ortiz-

Garay, É. M. (2024). Epoxy resin-based root canal sealers: An integrative literature review. *Dental and Medical Problems*, 61(2), 279–291.

<https://doi.org/10.17219/dmp/156654>

Angerame, D., De Biasi, M., Pecci, R., & Bedini, R. (2020). Filling ability of three variants of the single-cone technique with bioceramic sealer: a micro-computed tomography study. *Journal of Materials Science Materials in Medicine*, 31(11).

<https://doi.org/10.1007/s10856-020-06443-0>

Ashraf, H., Najafi, F., Heidari, S., Mohammadian, M., & Zadsirjan, S. (2017). Physical properties and chemical characterization of two experimental epoxy resin root canal sealers. *PubMed*, 12(2), 149–156. <https://doi.org/10.22037/iej.2017.30>

Atav, A., Zanza, A., Gunes, A., Testarelli, L., Galli, M., Erda, Q., Relucenti, M.,

Donfrancesco, O., & Gambarini, G. (2025). Recent innovations in endodontic irrigation and effects on smear layer removal: an ex-vivo study. *Clinical Oral Investigations*, 29(6). <https://doi.org/10.1007/s00784-025-06387-1>

Badawy, R., & Abdallah, D. (2022). Evaluation of new bioceramic endodontic sealers:

An in vitro study. *Dental and Medical Problems*, 59(1), 85–92.

<https://doi.org/10.17219/dmp/133954>

Bergenholtz, G. (1991). Iatrogenic injury to the pulp in dental procedures: aspects of pathogenesis, management and preventive measures. *International Dental Journal*, 41(2), 99–110

- Berggreen, E., Wiig, H., & Virtejt, A. (2020). Fluid transport from the dental pulp revisited. *European Journal of Oral Sciences*, *128*(5), 365–368.  
<https://doi.org/10.1111/eos.12733>
- Bernhart, O. (2021). *Tratamento endodôntico em dentes com rizogênese incompleta: Revisão de literatura.*
- Bücher, K., Meier, F., Diegritz, C., Kaaden, C., Hickel, R., & Kühnisch, J. (2016). Long-term outcome of MTA apexification in teeth with open apices. *Quintessence International*, *47*(6), 473–482. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a35702>
- Burns, L. E., Kim, J., Wu, Y., Alzwaideh, R., McGowan, R., & Sigurdsson, A. (2022). Outcomes of primary root canal therapy: An updated systematic review of longitudinal clinical studies published between 2003 and 2020. *International Endodontic Journal*, *55*(7), 714–731. <https://doi.org/10.1111/iej.13736>
- Camargo, C. H. R., Oliveira, T. R., Silva, G. O., Rabelo, S. B., Valera, M. C., & Cavalcanti, B. N. (2013). Setting time affects in vitro biological properties of root canal sealers. *Journal of Endodontics*, *40*(4), 530–533.  
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.08.009>
- Celikten, B., Uzuntas, C. F., Orhan, A. I., Tufenkci, P., Misirli, M., Demiralp, K. O., & Orhan, K. (2015). Micro-CT assessment of the sealing ability of three root canal filling techniques. *Journal of Oral Science*, *57*(4), 361–366.  
<https://doi.org/10.2334/josnurd.57.361>
- Celikten, B., Uzuntas, C. F., Orhan, A. I., Orhan, K., Tufenkci, P., Kursun, S., & Demiralp, K. Ö. (2015). Evaluation of root canal sealer filling quality using a single-cone technique in oval shaped canals: An In vitro Micro-CT study. *Scanning*, *38*(2), 133–140. <https://doi.org/10.1002/sca.21249>

- Chen, M. Y., Chen, K., Chen, C., Tayebaty, F., Rosenberg, P. A., & Lin, L. M. (2011). Responses of immature permanent teeth with infected necrotic pulp tissue and apical periodontitis/abscess to revascularization procedures. *International Endodontic Journal*, 45(3), 294–305. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01978.x>
- Colombo, M., Poggio, C., Dagna, A., Meravini, M., Riva, P., Trovati, F., & Pietrocola, G. (2018). Biological and physico-chemical properties of new root canal sealers. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 0. <https://doi.org/10.4317/jced.54548>
- Da Rosa, R. A., Barreto, M. S., Moraes, R. D. A., Broch, J., Bier, C. a. S., So, M. V. R., Kaizer, O. B., & Valandro, L. F. (2013). Influence of endodontic sealer composition and time of fiber post cementation on sealer adhesiveness to bovine root dentin. *Brazilian Dental Journal*, 24(3), 241–246. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201302154>
- Da Silva, G. F., Coelho, L. a. S., Costa, V. a. S., Conti, L. C., De Almeida Lima, A. C., De Santi Sodré, G. C., Martins, M. R. L., Duarte, M. a. H., & Vivian, R. R. (2022). Laboratory study of tissue repair of resin-based endodontic sealers in critical surgical defects. *Journal of Applied Oral Science*, 30. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2022-0108>
- De-Deus, G., Souza, E. M., Silva, E. J. N. L., Belladonna, F. G., Simões-Carvalho, M., Cavalcante, D. M., & Versiani, M. A. (2022). A critical analysis of research methods and experimental models to study root canal fillings. *International Endodontic Journal*, 55(S2), 384–445. <https://doi.org/10.1111/iej.13713>
- De França, G. M., Pinheiro, J. C., De Moraes, E. F., Leite, R. B., Barboza, C. a. G., & Bueno, C. S. P. (2019). USO DOS BIOCERÂMICOS NA ENDODONTIA:

- REVISÃO DE LITERATURA. *Revista De Ciências Da Saúde Nova Esperança*, 17(2), 45–55. <https://doi.org/10.17695/revnevol17n2p45-55>
- Donnermeyer, D., Schemkämper, P., Bürklein, S., & Schäfer, E. (2022). Short and Long-Term Solubility, Alkalinizing Effect, and Thermal Persistence of Premixed Calcium Silicate-Based Sealers: AH Plus Bioceramic Sealer vs. Total Fill BC Sealer. *Materials*, 15(20), 7320. <https://doi.org/10.3390/ma15207320>
- Dong, X., & Xu, X. (2023). Bioceramics in Endodontics: updates and future Perspectives. *Bioengineering*, 10(3), 354. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030354>
- Dowd, F. (2007). *Mosby's review for the NBDE Part II*. St. Louis, MO: Mosby
- Drews, D., Nguyen, A. D., Diederich, A., & Gernhardt, C. R. (2023). The Interaction of Two Widely Used Endodontic Irrigants, Chlorhexidine and Sodium Hypochlorite, and Its Impact on the Disinfection Protocol during Root Canal Treatment. *Antibiotics*, 12(3), 589. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030589>
- Drukteinis, S., Bilvinaite, G., Tusas, P., Shemesh, H., & Peciuliene, V. (2021). Microcomputed tomographic assessment of the single cone root canal fillings performed by undergraduate student, postgraduate student and specialist endodontist. *Journal of Clinical Medicine*, 10(5), 1080. <https://doi.org/10.3390/jcm10051080>
- Duncan, H. F., Kirkevang, L., Peters, O. A., El-Karim, I., Krastl, G., Del Fabbro, M., Chong, B. S., Galler, K. M., Segura-Egea, J. J., & Kerschull, M. (2023). Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. *International Endodontic Journal*, 56(S3), 238–295. <https://doi.org/10.1111/iej.13974>

- Elyassi, Y., Moinzadeh, A. T., & Kleverlaan, C. J. (2019). Characterization of Leachates from 6 Root Canal Sealers. *Journal of Endodontics*, 45(5), 623–627. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.01.011>
- Eren, S. K., Uzunoğlu-Özyürek, E., & Karahan, S. (2021). Influence of reciprocating and rotary instrumentation on microbial reduction: a systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(2). <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e19>
- Esen, A. K., & Kalabalık, F. (2024). Clinical outcome of root canal obturation using different based sealers: a retrospective cohort study. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05380-6>
- European Society of Endodontology. (2021). *ESE position statement: Endodontic diagnosis and treatment planning*. *International Endodontic Journal*, 54(12), 1999–2007.
- Ferreira, M. M., Martinho, J. P., Duarte, I., Mendonça, D., Craveiro, A. C., Botelho, M. F., Carrilho, E., Marto, C. M., Coelho, A., Paula, A., Paulo, S., Chichorro, N., & Abrantes, A. M. (2022). Evaluation of the sealing ability and bond strength of two endodontic root canal sealers: an in vitro study. *Dentistry Journal*, 10(11), 201. <https://doi.org/10.3390/dj10110201>
- Ferreira, M. M., Martinho, J. P., Duarte, I., Mendonça, D., Craveiro, A. C., Botelho, M. F., Carrilho, E., Marto, C. M., Coelho, A., Paula, A., Paulo, S., Chichorro, N., & Abrantes, A. M. (2022). Evaluation of the sealing ability and bond strength of two endodontic root canal sealers: an in vitro study. *Dentistry Journal*, 10(11), 201. <https://doi.org/10.3390/dj10110201>
- Fortea, L., Sanz-Serrano, D., Luz, L., Bardini, G., & Mercade, M. (2024). Update on chelating agents in endodontic treatment: A systematic review. *Journal of*

- Clinical and Experimental Dentistry*, e516–e538.  
<https://doi.org/10.4317/jced.60989>
- Galler, K. M., Weber, M., Korkmaz, Y., Widbiller, M., & Feuerer, M. (2021). Inflammatory response mechanisms of the Dentine–Pulp complex and the periapical tissues. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), 1480.  
<https://doi.org/10.3390/ijms22031480>
- Gluskin, A. H., Peters, C. I., & Peters, O. A. (2014). Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms. *BDJ*, 216(6), 347–353.  
<https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2014.201>
- Gill, I., Mittal, S., Kumar, T., & Keshav, V. (2024). Open Apex and its Management: Review Article. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 16(Suppl 1), S31–S34. [https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs\\_615\\_23](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_615_23)
- Girelli, C., Lacerda, M., Lemos, C., Amaral, M., Lima, C., Silveira, F., & Nunes, E. (2022). The thermoplastic techniques or single-cone technique on the quality of root canal filling with tricalcium silicate-based sealer: An integrative review. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e566–e572.  
<https://doi.org/10.4317/jced.59387>
- Goodis, H., Marshall, G., & White, J. (1991). The effects of storage after extraction of the teeth on human dentine permeability in vitro. *Archives of Oral Biology*, 36(8), 561–566. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(91\)90105-4](https://doi.org/10.1016/0003-9969(91)90105-4)
- Gomes, B. P. F. A., Aveiro, E., & Kishen, A. (2023). Irrigants and irrigation activation systems in Endodontics. *Brazilian Dental Journal*, 34(4), 1–33.  
<https://doi.org/10.1590/0103-6440202305577>

- Gulabivala, K., Patel, B., Evans, G., & Ng, Y. (2005). Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics*, 10(1), 103–122. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2005.00133.x>
- Hachmeister, D., Schindler, W., Walkeriii, W., & Deneethomas, D. (2002). The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. *Journal of Endodontics*, 28(5), 386–390. <https://doi.org/10.1097/00004770-200205000-00010>
- Hadjiantonis, E. (2016). *The outcome and prognostic factors affecting the success of traumatic injuries of permanent teeth : a retrospective study*. <https://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/16222/>
- Haji, T. H., Selivany, B. J., & Suliman, A. A. (2022). Sealing ability in vitro study and biocompatibility in vivo animal study of different bioceramic based sealers. *Clinical and Experimental Dental Research*, 8(6), 1582–1590. <https://doi.org/10.1002/cre2.652>
- Hoedke, D., Kaulika, N., Dommisch, H., Schlafer, S., Shemesh, H., & Bitter, K. (2021). Reduction of dual-species biofilm after sonic- or ultrasonic-activated irrigation protocols: A laboratory study. *International Endodontic Journal*, 54(12), 2219–2228. <https://doi.org/10.1111/iej.13618>
- Holland, R., Souza, V. de, Nery, M. J., Faraco Júnior, I. M., Bernabé, P. F. E., Otoboni Filho, J. A., & Dezan Júnior, E. (2002). Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with a white mineral trioxide aggregate. *Brazilian Dental Journal*, 13(1), 23–26
- Holland, R., Souza, V., Nery, M., Faraco Jr, I., & Bernabé, P. (2005). Apical leakage in teeth with apical resorption. *Journal of Endodontics*, 31(5), 353–357

- Huang, Y., Celikten, B., De Faria Vasconcelos, K., Nicolielo, L. F. P., Lippiatt, N., Buyuksungur, A., Jacobs, R., & Orhan, K. (2017). Micro-CT and nano-CT analysis of filling quality of three different endodontic sealers. *Dentomaxillofacial Radiology*, *46*(8), 20170223. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20170223>
- Huang, C., Hsiao, C., Chang, Y., Chang, C., Yang, J., Gutmann, J. L., Chang, H., Huang, H., & Hsieh, S. (2023). A Novel Endodontic Approach in Removing Smear Layer Using Nano and Submicron Diamonds with Intracanal Oscillation Irrigation. *Nanomaterials*, *13*(10), 1646. <https://doi.org/10.3390/nano13101646>
- Juntha, S., Tungsawat, P., Wongwatanasanti, N., Suksaphar, W., & Lertnantapanya, S. (2024). Evaluation of setting time, flowability, film thickness, and radiopacity of experimental monocalcium Silicate-Based root canal sealers. *International Journal of Dentistry*, *2024*, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2024/8541653>
- Kahler, B., & Rossi-Fedele, G. (2016). A Review of Tooth Discoloration after Regenerative Endodontic Therapy. *Journal of Endodontics*, *42*(4), 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.12.022>
- Kang, T., Choi, J., Seo, K., Kim, K., & Kwon, J. (2021). Physical, chemical, mechanical, and biological properties of four different commercial Root-End filling materials: a comparative study. *Materials*, *14*(7), 1693. <https://doi.org/10.3390/ma14071693>
- Kasper, R. H., Coelho, M. R., Miguens-Jr, S. A. Q., Grazziotin-Soares, R., & Barletta, F. B. (2024). Pulse oximetry as a dental pulp test: A scoping review to identify barriers hindering the use of oximeters in clinical practice. *The Saudi Dental Journal*, *36*(2), 262–269. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.11.006>

- Kuçi, A., Alaçam, T., Yavaş, Ö., Ergul-Ulger, Z., & Kayaoglu, G. (2014). Sealer Penetration into Dentinal Tubules in the Presence or Absence of Smear Layer: A Confocal Laser Scanning Microscopic Study. *Journal of Endodontics*, 40(10), 1627–1631. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.03.019>
- Laslami, K., Dhoun, S., Harchi, A. E., & Benkiran, I. (2018). Relationship between the Apical Preparation Diameter and the Apical Seal: An In Vitro Study. *International Journal of Dentistry*, 2018, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2018/2327854>
- Lau, X. E., Liu, X., Chua, H., Wang, W. J., Dias, M., & Choi, J. J. E. (2023). Heat generated during dental treatments affecting intrapulpal temperature: a review. *Clinical Oral Investigations*, 27(5), 2277–2297. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-04951-1>
- Levin, L. G., Law, A. S., Holland, G., Abbott, P. V., & Roda, R. S. (2009). Identify and define all diagnostic terms for pulpal health and disease states. *Journal of Endodontics*, 35(12), 1645–1657. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.032>
- Li, J., Zheng, L., Daraqel, B., Liu, J., & Hu, Y. (2023). Treatment Outcome of regenerative endodontic procedures for necrotic immature and mature permanent teeth: A Systematic Review and Meta-Analysis based on randomised controlled trials. *PubMed*, 21(1), 141–152. <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.b4100877>
- Lim, M., Jung, C., Shin, D., Cho, Y., & Song, M. (2020). Calcium silicate-based root canal sealers: a literature review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 45(3). <https://doi.org/10.5395/rde.2020.45.e35>
- Mahendra, D. A., Nindita, Y., Wibowo, G. W., & Fortuna, G. (2022). Comparison of apical sealing ability between bioceramic and zinc oxide eugenol-based sealer

- during root canal treatment, in vitro. *Majalah Kedokteran Gigi Indonesia*, 7(2), 95. <https://doi.org/10.22146/majkedgiind.62212>
- Mahmoud, O., Al-Afifi, N. A., Farook, M. S., Ibrahim, M. A., Shehadat, S. A., & Alsaegh, M. A. (2022). Morphological and chemical analysis of different types of calcium Silicate-Based cements. *International Journal of Dentistry*, 2022, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2022/6480047>
- Makanjuola, J. O., Oderinu, O. H., & Umesi, D. C. (2022). Treatment outcome and root canal preparation techniques: 5-Year Follow-Up. *International Dental Journal*, 72(6), 811–818. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2022.08.008>
- Mamootil, K., & Messer, H. H. (2007). Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *International Endodontic Journal*, 40(11), 873–881. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01307.x>
- Mansour, M. M., Moussa, S. M., Meheissen, M. A., & Aboelseoud, M. R. (2024). Bacterial sealing ability of calcium silicate-based sealer for endodontic surgery: an in-vitro study. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04309-3>
- Mathew, S., & Hegde, M. (2008). Shear bond strength of eugenol- and non-eugenol-based endodontic sealers to gutta-percha and dentin: An invitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 11(1), 30. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.43415>
- Mejåre, I. A., Axelsson, S., Davidson, T., Frisk, F., Hakeberg, M., Kvist, T., Norlund, A., Petersson, A., Portenier, I., Sandberg, H., Tranæus, S., & Bergenholtz, G. (2012). Diagnosis of the condition of the dental pulp: a systematic review. *International Endodontic Journal*, 45(7), 597–613. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02016.x>

- Mert, D. B., & Gençoğlu, N. (2024). Evaluation of the physical properties of different Bioceramic-Based root canal sealers. *Bezmialem Science*, 12(2), 224–230. <https://doi.org/10.14235/bas.galenos.2024.84429>
- Mittal, N., Thangamuthu, T., Gupta, S., Gupta, S., Aggarwal, H., & Kharat, S. (2024). Comparative evaluation of resin-based sealers and bioceramic sealers for postoperative pain after endodontic treatment: A systematic review. *Dental and Medical Problems*, 61(2), 293–300. <https://doi.org/10.17219/dmp/155885>
- Moazzami, F., Jahandizi, N. G., Shokouhi, M. M., & Ghahramani, Y. (2023). Sealing Ability of Nano-fast Cement vs. Mineral Trioxide Aggregate as Retrograde Apical Plugs: An In-vitro Microleakage Study. *PubMed*, 18(4), 206–210. <https://doi.org/10.22037/iej.v18i4.41642>
- Mohammadi, Z., Shalavi, S., & Jafarzadeh, H. (2013). Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *European Journal of Dentistry*, 07(S 01), S135–S142. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.119091>
- Mohammadi, Z., Jafarzadeh, H., & Shalavi, S. (2014). Antimicrobial efficacy of chlorhexidine as a root canal irrigant: a literature review. *Journal of Oral Science*, 56(2), 99–103. <https://doi.org/10.2334/josnusd.56.99>
- Mohammadi, Z., Shalavi, S., Giardino, L., Palazzi, F., & Asgary, S. (2015). Impact of ultrasonic activation on the effectiveness of sodium hypochlorite: a review. *PubMed*, 10(4), 216–220. <https://doi.org/10.7508/iej.2015.04.001>
- Mohammadi, Z., & Abbott, P. V. (2009). The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *International Endodontic Journal*, 42(4), 288–302. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01540.x>
- Mohammadi, Z., Shalavi, S., Kinoshita, J., Giardino, L., Gutmann, J. L., Rad, S. B., Udoe, C. I., & Jafarzadeh, H. (2021). A review on root canal irrigation

- solutions in endodontics. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*.  
<https://doi.org/10.22038/jdmt.2021.56003.1431>
- Motamedi, M. R. K., Mortaheb, A., Jahromi, M. Z., & Gilbert, B. E. (2021). Micro-CT evaluation of four root canal obturation techniques. *Scanning*, 2021, 1–7.  
<https://doi.org/10.1155/2021/6632822>
- Nagendrababu, V., Jayaraman, J., Suresh, A., Kalyanasundaram, S., & Neelakantan, P. (2018). Effectiveness of ultrasonically activated irrigation on root canal disinfection: a systematic review of in vitro studies. *Clinical Oral Investigations*, 22(2), 655–670. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2345-x>
- Ng, Y., 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>
- Nikhil, V., Jha, P., & Aggarwal, A. (2015). Comparative Evaluation of Fracture Resistance of Simulated Immature Teeth Restored with Glass Fiber Posts, Intracanal Composite Resin, and Experimental Dentine Posts. *The Scientific World JOURNAL*, 2015, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2015/751425>
- Nomura, L. H., Bortoluzzi, E. A., Tay, F. R., Da Fonseca Roberti Garcia, L., & Da Silveira Teixeira, C. (2023). The effects of heating on the physicochemical properties of tricalcium silicate root canal sealers. *Brazilian Dental Journal*, 34(4), 34–43. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202305237>
- Nouroloyouni, A., Samadi, V., Milani, A. S., Noorolouny, S., & Valizadeh-Haghi, H. (2023). Single Cone Obturation versus Cold Lateral Compaction Techniques with Bioceramic and Resin Sealers: Quality of Obturation and Push-Out Bond

- Strength. *International Journal of Dentistry*, 2023, 1–8.  
<https://doi.org/10.1155/2023/3427151>
- Oh, H., Kim, E., Lee, S., Park, S., Chen, D., Shin, S., Kim, E., & Kim, S. (2020). Comparison of biocompatibility of calcium Silicate-Based sealers and epoxy Resin-Based sealer on human periodontal ligament stem cells. *Materials*, 13(22), 5242. <https://doi.org/10.3390/ma13225242>
- Panda, P., Mishra, L., Govind, S., Panda, S., & Lapinska, B. (2022). Clinical Outcome and Comparison of Regenerative and Apexification Intervention in Young Immature Necrotic Teeth—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(13), 3909. <https://doi.org/10.3390/jcm11133909>
- Park, S. H., Ye, L., Love, R. M., Farges, J., & Yumoto, H. (2015). Inflammation of the dental pulp. *Mediators of Inflammation*, 2015(1).  
<https://doi.org/10.1155/2015/980196>
- Peters, O. A., Peters, C. I., Schönenberger, K., & Barbakow, F. (2003). ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *International Endodontic Journal*, 36(2), 86–92.  
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00626.x>
- Poggio, C., Dagna, A., Ceci, M., Meravini, M., Colombo, M., & Pietrocola, G. (2017). Solubility and pH of bioceramic root canal sealers: A comparative study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e1189–e1194.  
<https://doi.org/10.4317/jced.54040>
- Pommel, L., & Camps, J. (2001). In Vitro Apical Leakage of System B Compared with Other Filling Techniques. *Journal of Endodontics*, 27(7), 449–451.  
<https://doi.org/10.1097/00004770-200107000-00003>

- Rasimick, B. J., Nekich, M., Hladek, M. M., Musikant, B. L., & Deutsch, A. S. (2008). Interaction between Chlorhexidine Digluconate and EDTA. *Journal of Endodontics*, *34*(12), 1521–1523. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.08.039>
- Ricucci, D., Loghin, S., & Siqueira, J. F. (2014). Correlation between Clinical and Histologic Pulp Diagnoses. *Journal of Endodontics*, *40*(12), 1932–1939. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.08.010>
- Robberecht, L., Colard, T., & Claisse-Crinquette, A. (2012). Qualitative evaluation of two endodontic obturation techniques: tapered single-cone method versus warm vertical condensation and injection system An in vitro study. *Journal of Oral Science*, *54*(1), 99–104. <https://doi.org/10.2334/josnurd.54.99>
- Ruksakiet, K., Hanák, L., Farkas, N., Hegyi, P., Sadaeng, W., Czumbel, L. M., Sang-Ngoen, T., Garami, A., Mikó, A., Varga, G., & Lohinai, Z. (2020). Antimicrobial efficacy of chlorhexidine and sodium hypochlorite in root canal disinfection: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Endodontics*, *46*(8), 1032-1041.e7. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.05.002>
- Rossi-Fedele, G., & Rödiger, T. (2022). Effectiveness of root canal irrigation and dressing for the treatment of apical periodontitis: A systematic review and meta-analysis of clinical trials. *International Endodontic Journal*, *56*(S3), 422–435. <https://doi.org/10.1111/iej.13777>
- Roy, M., Bailwad, S. A., Bhatnagar, A., Singh, S., Assiry, A. A., Mohamed, R. N., Basha, S., Snigdha, N. T., & Karobari, M. I. (2024). Evaluation of microleakage of mineral trioxide aggregate and biodentine as apical barriers in simulated young permanent teeth. *BMC Oral Health*, *24*(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04817-2>

- Saghiri, M. A. (2024). Evaluating the solubility of endodontic sealers in response to static and dynamic stress: an in vitro study. *European Endodontic Journal*, 231–235. <https://doi.org/10.14744/ej.2023.62207>
- Sah, S., Mangat, P., Kumar, A., Sah, N., Shivakumar, G. C., Di Blasio, M., Cervino, G., & Minervini, G. (2024). Stereomicroscopic evaluation of sealing ability of four different root canal sealers: an in-vitro study. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03913-7>
- Salah, K. B. H., Jaâfoura, S., Tlili, M., Ameer, M. B., & Sahtout, S. (2021). Outcome of Root Canal Treatment of Necrotic Teeth with Apical Periodontitis Filled with a Bioceramic-Based Sealer. *International Journal of Dentistry*, 2021, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2021/8816628>
- Santos, G. S. B. D., Carvalho, C. N., De Jesus Tavares, R. R., De Barros Silva, P. G., De Miranda Candeiro, G. T., & Filho, E. M. M. (2023). Tissue repair capacity of bioceramic endodontic sealers in rat subcutaneous tissue. *Brazilian Dental Journal*, 34(3), 25–32. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202305161>
- Sanz, J. L., López-García, S., Rodríguez-Lozano, F. J., Melo, M., Lozano, A., Llena, C., & Forner, L. (2022). Cytocompatibility and bioactive potential of AH Plus Bioceramic Sealer: An in vitro study. *International Endodontic Journal*, 55(10), 1066–1080. <https://doi.org/10.1111/iej.13805>
- Sayed, M. a. M. E., & Husseini, H. A. (2018). Apical dye leakage of two single-cone root canal core materials (hydrophilic core material and gutta-percha) sealed by different types of endodontic sealers: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 21(2), 147. [https://doi.org/10.4103/jcd.jcd\\_154\\_17](https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_154_17)

- Schäfer, E., Bering, N., & Bürklein, S. (2013). Selected physicochemical properties of AH Plus, EndoREZ and RealSeal SE root canal sealers. *Odontology*, *103*(1), 61–65. <https://doi.org/10.1007/s10266-013-0137-y>
- Shabbir, J., Zehra, T., Najmi, N., Hasan, A., Naz, M., Piasecki, L., & Azim, A. A. (2021). Access Cavity Preparations: Classification and literature review of traditional and minimally invasive endodontic access cavity designs. *Journal of Endodontics*, *47*(8), 1229–1244. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.05.007>
- Sheehy, E. C., & Roberts, G. J. (1997). Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: a review. *BDJ*, *183*(7), 241–246. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4809477>
- Siboni, F., Taddei, P., Zamparini, F., Prati, C., & Gandolfi, M. G. (2017). Properties of BioRoot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *International Endodontic Journal*, *50*(S2). <https://doi.org/10.1111/iej.12856>
- Silva, E., Hecksher, F., Vieira, V., Vivan, R., Duarte, M., Brasil, S., & Antunes, H. (2020). Cytotoxicity, antibacterial and physicochemical properties of a new epoxy resin-based endodontic sealer containing calcium hydroxide. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e533–e539. <https://doi.org/10.4317/jced.56534>
- Silva, E. J. N. L., Neves, A. A., Siqueira, J. F., Jr., & Rôças, I. N. (2022). Evaluation of apical sealing ability in immature teeth obturated with bioceramic sealers. *Journal of Endodontics*, *48*(3), 327–334.
- Singhal, R., Singla, M. G., Wahi, P., Bhasin, P., Garg, A., & Nangia, D. (2025). Sealing ability of three bioceramic sealers using sealer-based obturation method after

- immersion in simulated body fluid. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(2), 199–203. [https://doi.org/10.4103/jcde.jcde\\_605\\_24](https://doi.org/10.4103/jcde.jcde_605_24)
- Stoll, R., Kist de Oliveira, M., et al. (2013). Bacterial leakage in root canals obturated with different techniques and sealers. *International Endodontic Journal*, 46(2), 117–124.
- Tabassum, S., & Khan, F. R. (2016). Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *European Journal of Dentistry*, 10(01), 144–147. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.175682>
- Tomson, P. L., Adams, N., Kavanagh, D., & Virdee, S. S. (2025). Non-surgical endodontics: contemporary biomechanical preparation of the root canal system. *BDJ*, 238(7), 478–486. <https://doi.org/10.1038/s41415-025-8599-1>
- Tonini, R., Salvadori, M., Audino, E., Sauro, S., Garo, M. L., & Salgarello, S. (2022). Irrigating Solutions and activation Methods Used in Clinical endodontics: a systematic review. *Frontiers in Oral Health*, 3. <https://doi.org/10.3389/froh.2022.838043>
- Torabinejad, M., Handysides, R., Khademi, A. A., & Bakland, L. K. (2002). Clinical implications of the smear layer in endodontics: A review. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontology*, 94(6), 658–666. <https://doi.org/10.1067/moe.2002.128962>
- Versiani, M., Martins, J., & Ordinola-Zapata, R. (2023). Anatomical complexities affecting root canal preparation: a narrative review. *Australian Dental Journal*, 68(S1). <https://doi.org/10.1111/adj.12992>
- Urban, K., Neuhaus, J., Donnermeyer, D., Schäfer, E., & Dammaschke, T. (2018). Solubility and pH value of 3 different root canal sealers: a long-term

- investigation. *Journal of Endodontics*, 44(11), 1736–1740.  
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.07.026>
- Viapiana, R., Moinzadeh, A. T., Camilleri, L., Wesselink, P. R., Filho, M. T., & Camilleri, J. (2015). Porosity and sealing ability of root fillings with gutta-percha and BioRoot RCS or AH Plus sealers. Evaluation by three ex vivo methods. *International Endodontic Journal*, 49(8), 774–782.  
<https://doi.org/10.1111/iej.12513>
- Viapiana, R., Flumignan, D. L., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Camilleri, J., & Tanomaru-Filho, M. (2013). Physicochemical and mechanical properties of zirconium oxide and niobium oxide modified Portland cement-based experimental endodontic sealers. *International Endodontic Journal*, 47(5), 437–448.  
<https://doi.org/10.1111/iej.12167>
- Wang, C. S., Arnold, R. R., Trope, M., & Teixeira, F. B. (2007). Clinical efficiency of 2% chlorhexidine gel in reducing intracanal bacteria. *Journal of Endodontics*, 33(11), 1283–1289. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.07.010>
- Wolters, W. J., Duncan, H. F., Tomson, P. L., Karim, I. E., McKenna, G., Dorri, M., Stangvaltaite, L., & Van Der Sluis, L. W. M. (2017). Minimally invasive endodontics: a new diagnostic system for assessing pulpitis and subsequent treatment needs. *International Endodontic Journal*, 50(9), 825–829.  
<https://doi.org/10.1111/iej.12793>
- Wong, A. W., Zhang, S., Li, S. K., Zhang, C., & Chu, C. (2017). Clinical studies on core-carrier obturation: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0459-1>
- Wu, M. K., Wesselink, P. R., & Walton, R. E. (2000). Apical leakage of different root canal sealers. *International Endodontic Journal*, 33(2), 152–157

- Wu, M., Wesselink, P. R., & Boersma, J. (1995). A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *International Endodontic Journal*, 28(4), 185–189. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1995.tb00297.x>
- Xu, Q., Fan, M., Fan, B., Cheung, G. S., & Hu, H. (2004). A new quantitative method using glucose for analysis of endodontic leakage. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontology*, 99(1), 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2004.06.006>
- Yazdizadeh, M., Bouzarjomehri, Z., Khalighinejad, N., & Sadri, L. (2013). Evaluation of apical microleakage in open apex teeth using MTA apical plug in different sessions. *ISRN Dentistry*, 2013, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2013/959813>
- Zanza, A., Reda, R., & Testarelli, L. (2023). Endodontic Orthograde retreatments: challenges and solutions. *Clinical Cosmetic and Investigational Dentistry*, Volume 15, 245–265. <https://doi.org/10.2147/ccide.s397835>
- Zhang, W., Li, Z., & Peng, B. (2009). Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontology*, 107(6), e79–e82. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.02.024>

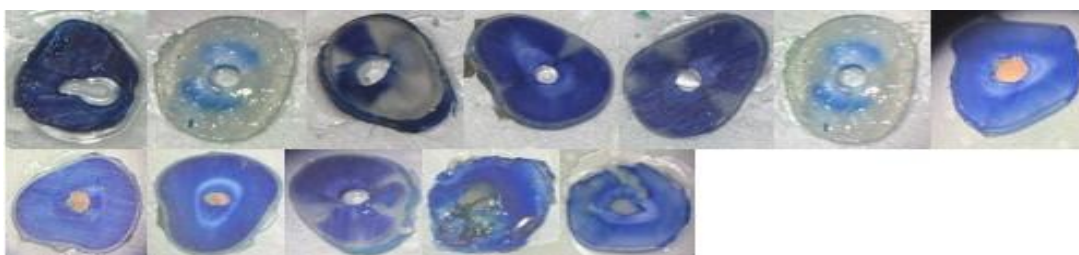
## ANEXOS

### I. Autorização da Comissão de Ética do IUEM



## II. Anexo da infiltração apical de corante

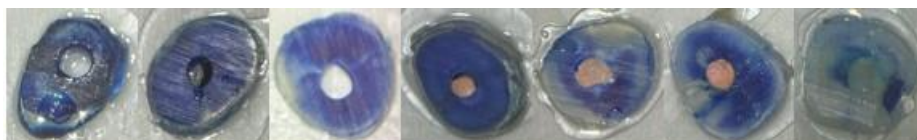
### 1. Controlo Positivo



Espécime n° 17



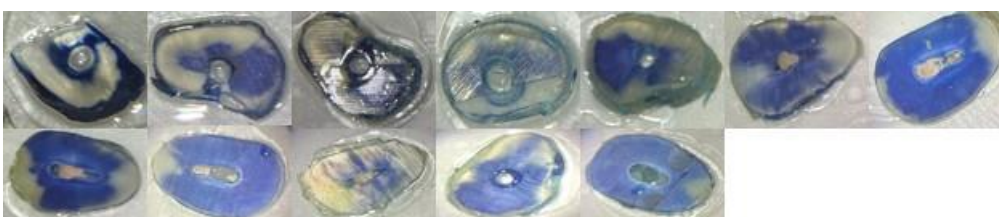
Espécime n° 23



Espécime n° 35



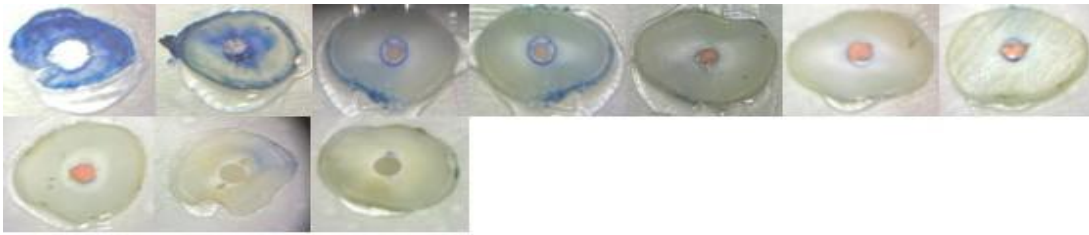
Espécime n° 43



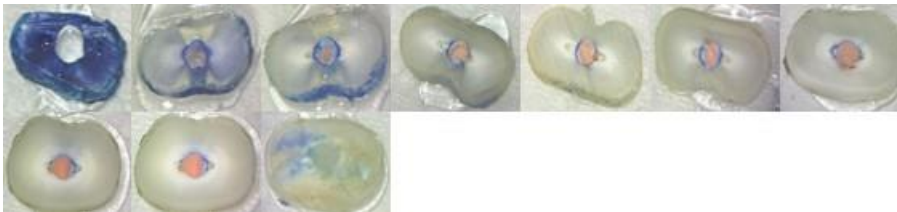
Espécime n° 71

Figura 28 - Controlo Positivo: Espécime n° 17; Espécime n° 23; Espécime n° 35; Espécime n° 43; Espécime n° 71;

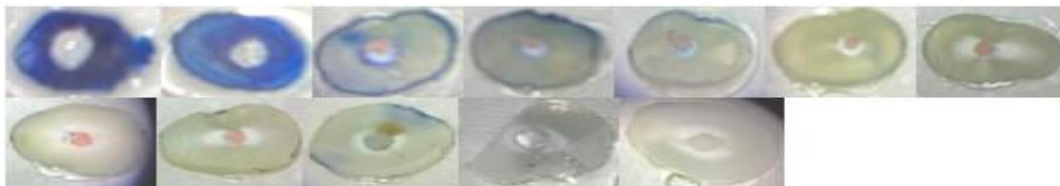
## 2. Controlo Negativo



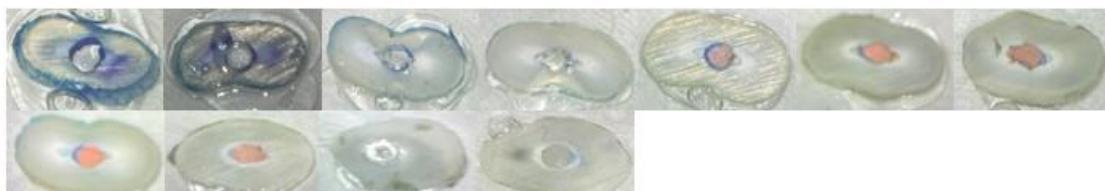
Espécime n° 26



Espécime n° 29



Espécime n° 51



Espécime n° 72



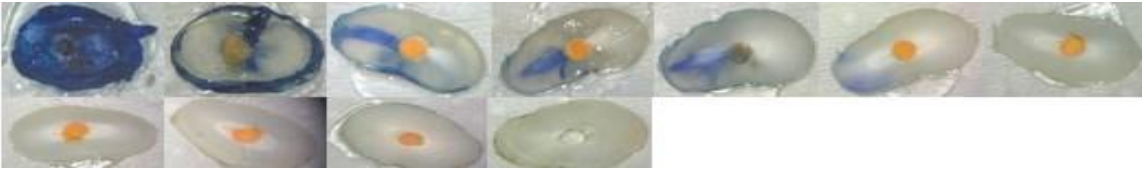
Espécime n° 79

Figura 29- Controlo Negativo: Espécime n° 26; Espécime n° 29; Espécime n° 51; Espécime n° 72; Espécime n° 79;

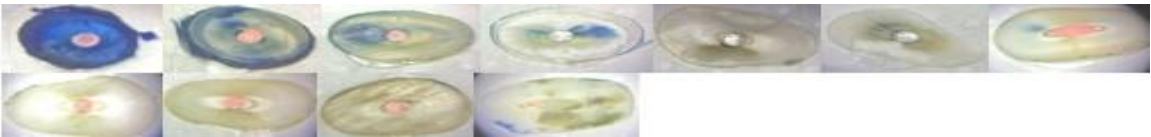
3.Grupo 1 – Subgrupo 1



Espécime nº 6



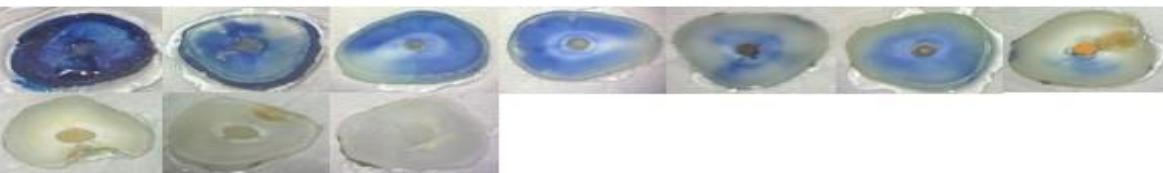
Espécime nº 7



Espécime nº 15



Espécime nº 33



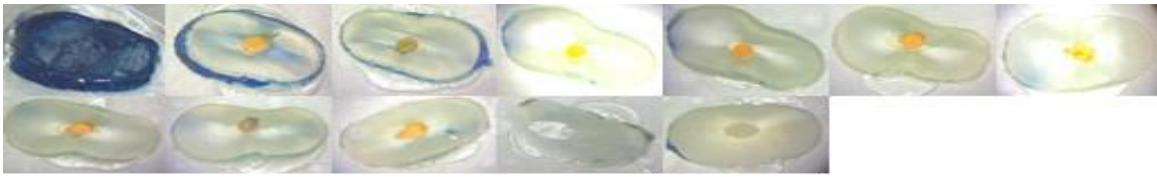
Espécime nº 42



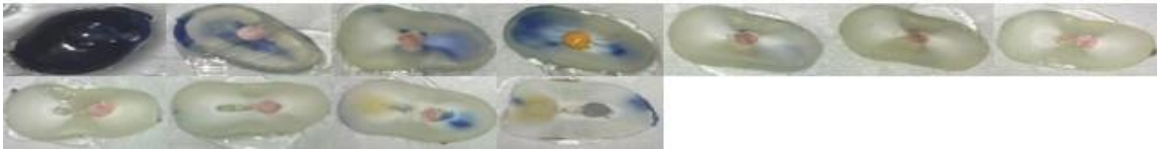
Espécime nº 47



Espécime n° 61



Espécime n° 64



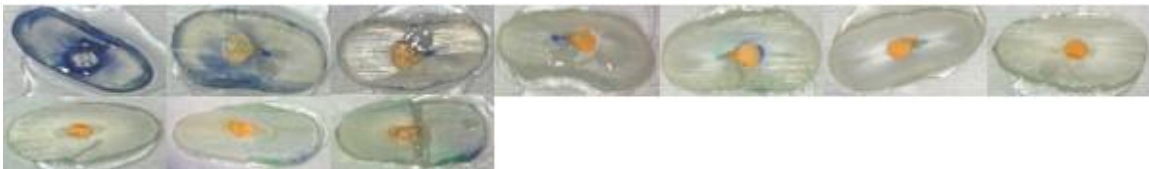
Espécime n° 66



Espécime n° 80

Figura 30 - Grupo G1S1: Espécime n° 6; Espécime n° 7; Espécime n° 15; Espécime n° 33; Espécime n° 42; Espécime n° 47; Espécime n° 61; Espécime n° 64; Espécime n° 66; Espécime n° 80;

#### 4.Grupo 1 – Subgrupo 2



Espécime n° 2



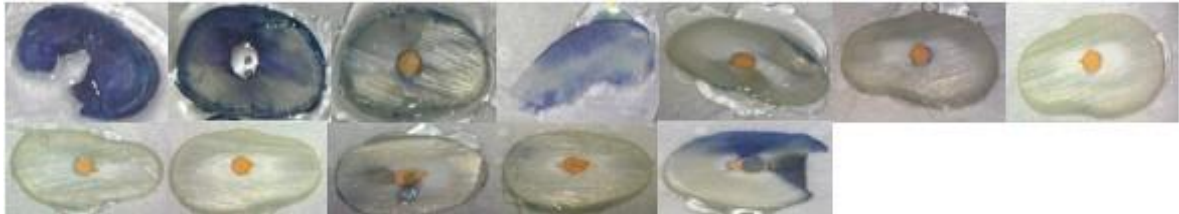
Espécime n° 16



Espécime n° 25



Espécime nº 34



Espécime nº 36



Espécime nº 37



Espécime nº 41



Espécime nº 57



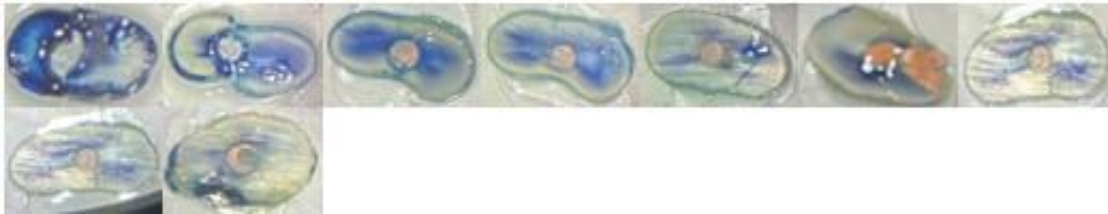
Espécime nº 62



Espécime n° 69

Figura 31 - Grupo G1S2: Espécime n° 2; Espécime n° 16; Espécime n° 25; Espécime n° 34; Espécime n° 36; Espécime n° 37; Espécime n° 41; Espécime n° 57; Espécime n° 62; Espécime n° 69;

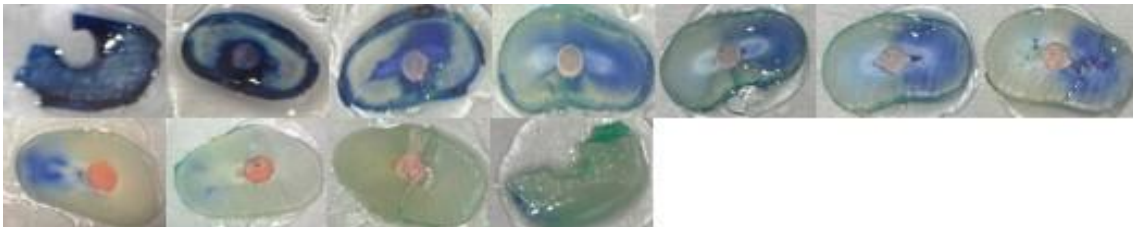
### 5.Grupo 2 – Subgrupo 1



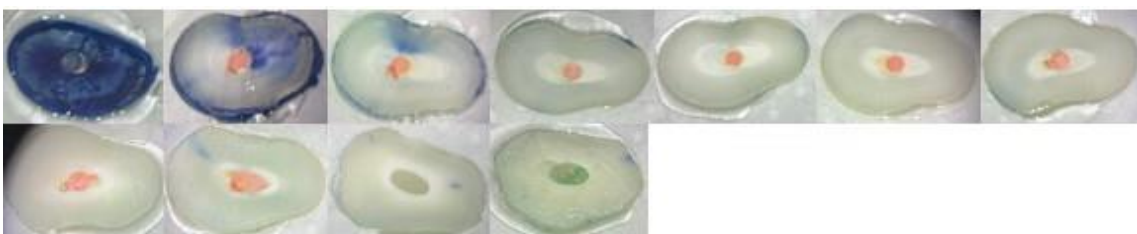
Espécime n° 19



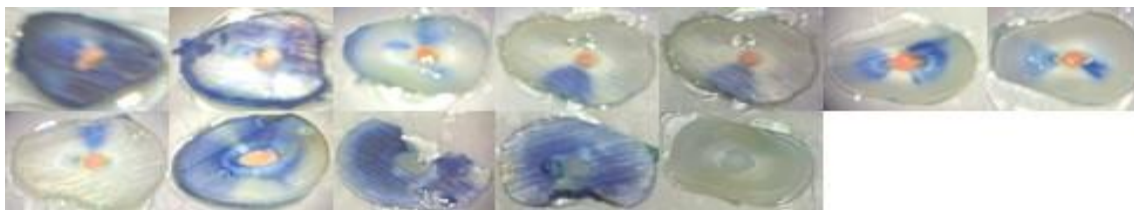
Espécime n° 20



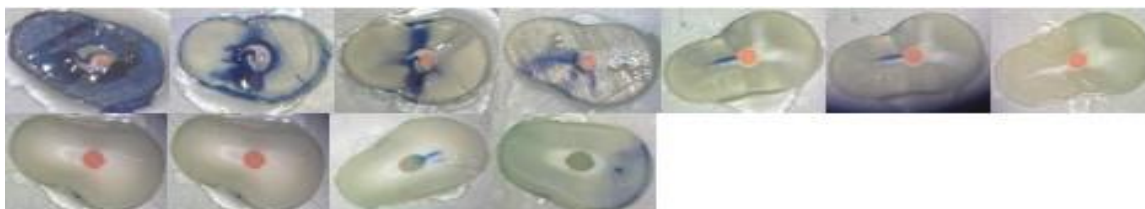
Espécime n° 38



Espécime n° 45



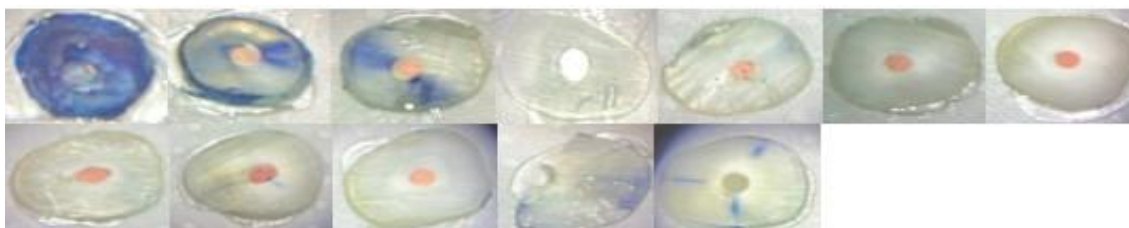
Espécime nº 46



Espécime nº 52



Espécime nº 59



Espécime nº 65



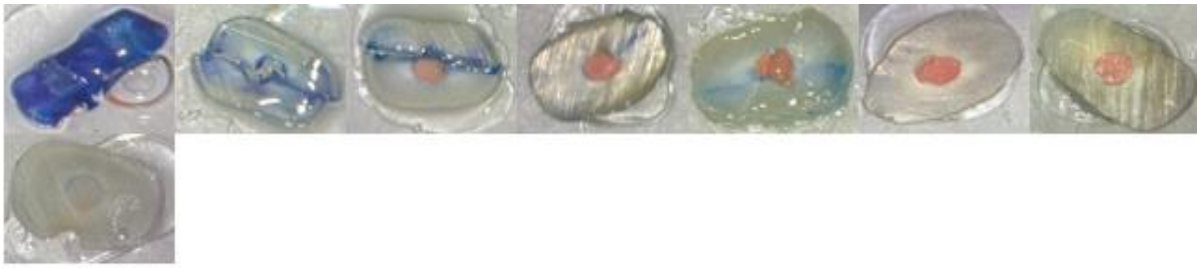
Espécime nº 70



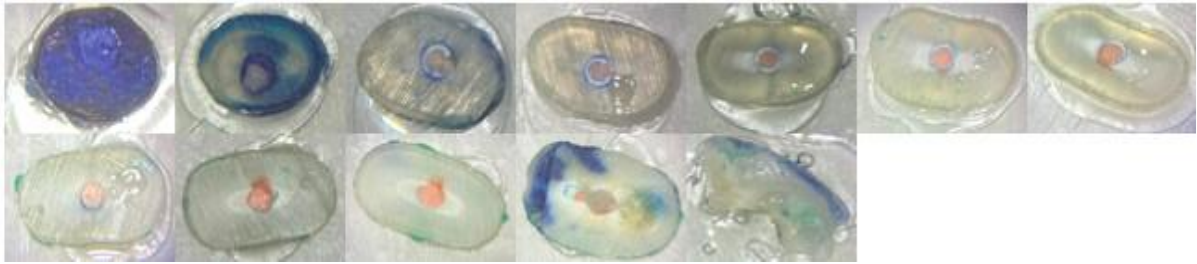
Espécime nº 78

Figura 32 - Grupo G2S1: Espécime nº 19; Espécime nº 20; Espécime nº 38; Espécime nº 45; Espécime nº 46; Espécime nº 52; Espécime nº 59; Espécime nº 65; Espécime nº 70; Espécime nº 78;

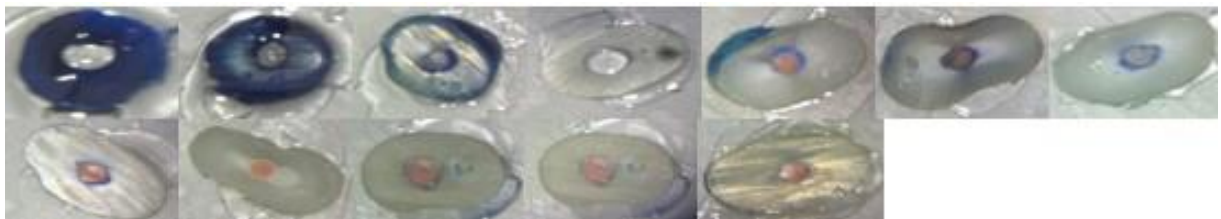
6.Grupo 2 – Subgrupo 2



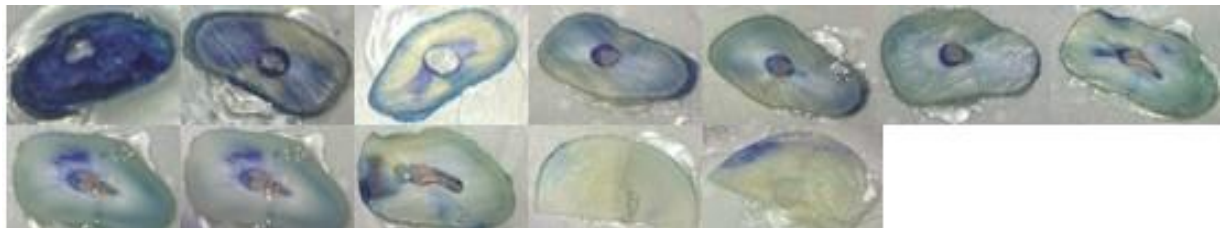
Espécime nº 5



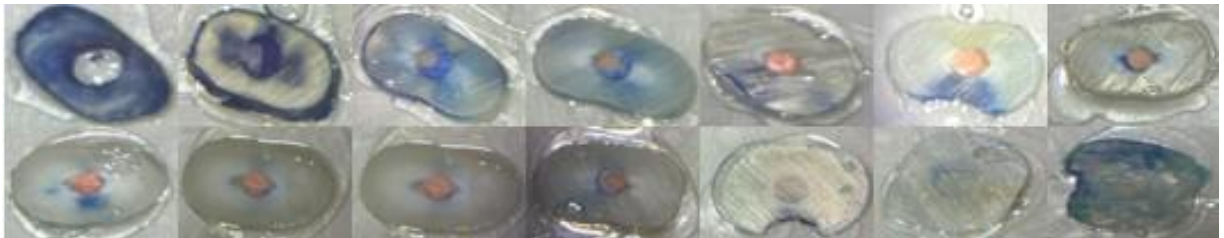
Espécime nº 9



Espécime nº 10



Espécime nº 13



Espécime nº 21



Espécime nº 24



Espécime nº 50



Espécime nº 53



Espécime nº 63



Espécime nº 74

Figura 33 - Grupo G2S1: Espécime nº 5; Espécime nº 9; Espécime nº 10; Espécime nº 13; Espécime nº 21; Espécime nº 24; Espécime nº 50; Espécime nº 53; Espécime nº 63; Espécime nº 74;