



**CESPU**  
INSTITUTO UNIVERSITÁRIO  
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

# **Os cimentos biocerâmicos na obturação retrógrada**

**Revisão sistemática integrativa**

**Laure Lucie Hélène Eloise Boussard**

**Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária  
(Ciclo Integrado)**

—

**Gandra, junho de 2022**

**Laure Lucie Hélène Eloise Boussard**

**Dissertação** conducente ao **Grau de Mestre** em Medicina Dentária  
(Ciclo Integrado).

**Os cimentos biocerâmicos na obturação retrógrada na  
microcirurgia endodôntica**

**Revisão sistemática integrativa**

Trabalho realizado sob a Orientação de  
**Prof. Doutor Fausto Miguel Tadeu Coelho da Silva**

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Eu, Laure Lucie Hélène Eloise Boussard, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.



## AGRADECIMENTOS

*A minha família, os meus pais, a minha irmã Céline, o meu irmão Pierre, pelo amor que me deram, pelos valores que me inculcaram e pelo vosso apoio inabalável. Um pensamento para a minha avó, que tenho a certeza que me está a observar lá de cima com tanta bondade como sempre. Muito obrigada à Corinne pelos seus conselhos e orientações inestimáveis.*

*A Akim, a quem nunca poderei agradecer o suficiente pela sua presença ao meu lado e pelo seu apoio ao longo dos anos.*

*A todos os meus amigos em França, que me acompanham desde muito tempo, e a todos aqueles que tive a sorte de conhecer aqui e que continuarão a ser a minha família portuguesa.*

*A meu orientador de tese, Fausto Tadeu, que gostaria de agradecer seu acompanhamento durante este trabalho.*



## RESUMO

**Introdução:** A microcirurgia endodôntica representa uma alternativa ao tratamento endodôntico não cirúrgico em casos de falha ou contra-indicação. O processo desta cirurgia envolve desafios, como a obturação retrógrada com materiais obturadores com características ideais. Atualmente, o MTA é o material de escolha, mas apresenta algumas desvantagens que os novos biocerâmicos tentam superar.

**Objetivos:** Avaliar o desempenho dos novos cimentos biocerâmicos em comparação com o MTA no preenchimento retrógrado da microcirurgia endodôntica.

**Materiais e métodos:** Realizou-se uma pesquisa na base de dados Pubmed entre 2013 e 2023 com as seguintes palavras-chaves: ((apical microsurgery) OR (apical surgery) OR (endodontic microsurgery) OR (endodontic Surgery) OR (root-end filling)) AND ((bioceramic) OR (silicate) OR (bioactive)).

**Resultados:** Foram incluídos 23 artigos na revisão sistemática integrativa, dos quais 7 abordam as capacidades de selamento, 4 analisam as propriedades físicas, 11 tratam das propriedades biológicas e, finalmente, 4 abordam várias características, como o manuseamento, o tempo de presa e a radiopacidade.

**Discussão:** Em relação às características dos novos biocerâmicos, a Biodentine, o BC-RRM (EndoSequence ou TotalFill) Pasta, Putty e BC-Sealer, bem como o BioAggregate, os mesmos apresentaram desempenhos semelhantes ao MTA em termos de capacidade de selamento, propriedades físicas e propriedades biológicas. Além disso, o BC-RRM superou o MTA em termos de radiopacidade, sem apresentar descoloração. Os formatos Putty têm capacidades mais adequadas para a cirurgia apical, com a possibilidade de aplicação incremental para melhorar a qualidade do preenchimento.

**Conclusão:** Os novos biocerâmicos podem ser uma alternativa viável ao MTA na cirurgia apical.

**PALAVRAS-CHAVE** - "apical microsurgery", "apical surgery", "endodontic microsurgery", "endodontic surgery", "root-end filling", "bioceramic", "silicate", "bioactive".



## ABSTRACT

**Background:** Endodontic microsurgery represents an alternative to non-surgical endodontic treatment in cases of failure or contraindication. The process of this surgery faces challenges, such as retrograde filling with obturating materials with ideal characteristics. Currently, MTA is the material of choice, but it has some disadvantages that new bioceramic are trying to overcome.

**Objectives:** To evaluate the performance of new bioceramic cements compared to MTA in retrograde filling of endodontic microsurgery.

**Material and methods:** A search was conducted in the Pubmed database between 2013 and 2023 with the following keywords: ((apical microsurgery) OR (apical surgery) OR (endodontic microsurgery) OR (endodontic surgery) OR (root-end filling)) AND ((bioceramic) OR (silicate) OR (bioactive)).

**Results:** A total of 23 articles were included in the integrative systematic review, of which 7 address sealing capabilities, 4 analyse physical properties, 11 address biological properties, and finally, 4 address various characteristics such as handling, setting time, and radiopacity.

**Discussion:** Regarding the characteristics of new bioceramic, Biodentine, BC-RRM (EndoSequence or TotalFill) Paste, Putty and BC-Sealer, as well as BioAggregate, showed performances similar to MTA in terms of sealing capability, physical properties, and biological properties. Furthermore, BC-RRM outperformed MTA in terms of radiopacity, without showing discoloration. Putty formats have more suitable capabilities for apical surgery, with the possibility of incremental application to improve filling quality.

**Conclusion:** New bioceramic can be a reliable alternative to MTA in apical surgery.

**KEY WORDS** - "apical microsurgery", "apical surgery", "endodontic microsurgery", "endodontic surgery", "root-end filling", "bioceramic", "silicate", "bioactive".



## ÍNDICE GERAL

Resumo.....	v
Abstract.....	vii
<b>I.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>II.OBJETIVOS E HIPÓTESES DE TRABALHO.....</b>	<b>2</b>
<b>III.MATERIAIS E METODOS.....</b>	<b>3</b>
a. Protocolo.....	3
b. Critérios de elegibilidade.....	3
c. Fontes de informação.....	4
d. Estratégia de busca.....	4
e. Seleção do estudo.....	4
<b>IV.RESULTADOS.....</b>	<b>6</b>
a. Seleção dos artigos.....	6
b. Itens de obtenção de dados.....	6
c. Síntese dos resultados.....	18
<b>V.DISSCUSSÃO.....</b>	<b>22</b>
a. Capacidade de selamento.....	22
i. Porosidade.....	22
ii. Adaptação marginal.....	23
iii. Estanqueidade.....	24
b. Propriedades físicas.....	25
i. Força de ligação.....	25
ii. Solubilização e estabilidade física.....	27
iii. Microdureza.....	27
c. Propriedades biológicas.....	27
i. Biocompatibilidade e citotoxicidade.....	27
ii. Bioatividade e reação química.....	31
iii. Ação antibacteriana.....	34
d. Outros fatores.....	35
i. Tempo de presa.....	35
ii. Manuseamento.....	35
iii. Radiopacidade.....	36
iv. Descoloração.....	37
<b>VI.CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>VII.LIMITACÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>VIII.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>39</b>



**CESPU**  
INSTITUTO UNIVERSITÁRIO  
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

### ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1 - Método PiCo : pergunta qualitativa

Tabela 2 - Critérios de elegibilidades

Tabela 3 - Estratégia de busca

Tabela 4 – Apresentação dos resultados dos artigos

### ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 – Fluxograma PRISMA da seleção dos artigos



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS, SIGLAS OU ACRÔNIMOS

ALP – *alkaline phosphatase*

BA - *BioAggregate*

BC-RRM - *Endosequence Root Repair Material BC*

BC Sealer – *Endosequence BC Sealer = TotalFill BC Sealer*

BD - *Biodentine*

BHI – *Brain Heart Infusion*

CaPs - *fosfato de cálcio*

CEM – *Calcium Enriched Mixture – Mistura Enriquecida com Cálcio*

CFU - *colony forming units*

CT – *micro-computed tomography*

ESEM-EDX - *environmental scanning electron microscopy with elemental dispersive X-ray microanalysis*

E. faecalis - *Enterococcus faecalis*

EM Premixed – *Endocem MTA Premixed*

IRM - *Intermediate Restorative Material = Material Restaurador Intermédio*

FBS – *fetal bovine serum*

MPa - megapascal

MTA - *Mineral Trioxide Aggregate = Mineral Trióxido Agregado*

MTA+ - *Mineral Trioxide Aggregate Plus = Mineral Trióxido Agregado Plus*

n - amostra

PBS – *phosphate-buffered solution*

PDL - *ligamento periodontal*

QS - *QuickSet*

RetroMTA – *Retro Mineral Trioxide Aggregate = Retro Mineral Trióxido Agregado*

SEM – *Scanning Electron Microscopy*

TC - *microfotografia computadorizada*

TCFC - *tomografia computadorizada de feixe cônico*

TENC - *tratamento endodôntico não cirurgical*

WR – *WellRoot PT*



## I. INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico está no centro da prática odontológica diária e destina-se à prevenção, diagnóstico e tratamento da polpa dentária e dos tecidos periapicais. O objetivo do tratamento endodôntico ortógrado é a eliminação e a desinfecção bacteriana dos canais radiculares para evitar uma lesão apical<sup>1,2</sup>.

A endodontia retrógrada é tradicionalmente considerada como uma alternativa terapêutica em caso de persistência de uma patologia periapical após um tratamento convencional ou quando o mesmo está contraindicado. Os objetivos da microcirurgia endodôntica são semelhantes aos da endodontia ortógrada: selar o ápice hermeticamente para impedir a entrada de microrganismos nos canais radiculares. Esta prática constitui um tratamento endodôntico por si só com taxa de sucesso elevada (94%) especialmente com a evolução da tecnologia, dos procedimentos e dos materiais<sup>1-10</sup>.

A microcirurgia endodôntica tem um protocolo específico com curetagem, ressecção do ápice de cerca 3 mm, instrumentação retrógrada com pontas ultrassônicas para remover a guta-percha remanescente e retro-preparação, eliminar as bactérias e a seguir realizar a obturação retrógrada<sup>4,10</sup>.

O material retro-obturador ideal deve ter capacidade de selamento sobre o sistema dos canais radiculares. Ele deve também ter propriedades físicas e biológicas tais como a biocompatibilidade e não ser reabsorvível. O material deve ser capaz de induzir a regeneração do ligamento periodontal. Algumas propriedades físicas são importantes como a estabilidade ao longo do tempo. As propriedades como o manuseamento e o tempo de trabalho são igualmente importantes para a colocação eficaz do material<sup>2,5,8,9,11-17</sup>.

Foram usados múltiplos materiais para a obturação apical, tais como amálgama, Super EBA, cimentos à base de óxido de zinco e eugenol, cimentos de ionómero de vidro, resinas compostas e silicatos. Esses materiais têm a capacidade de induzir uma cicatrização sobre os tecidos adjacentes e a reconstituição do osso alveolar periradicular. No entanto, nenhum deles pode induzir a formação de cimento e uma cicatrização completa do ligamento periodontal<sup>2,4,7,13,18-20</sup>.

Atualmente, o Mineral Trioxide Aggregate (MTA) é o material de eleição devido aos resultados notáveis. A sua composição, com base em silicato de cálcio, é uma modificação do cimento de Portland, que apresenta características químicas e biológicas excelentes. Apesar do MTA ser considerado como o *gold standard*, existem algumas

limitações, como o tempo de presa demorado, o difícil manuseamento e potenciais descolorações<sup>4,18</sup>.

Para otimizar a obturação, devemos procurar um material obturador que atenda a todas as características ideais para sua função. Por isso, vários novos cimentos biocerâmicos, que combinam os silicatos de cálcio e fosfatos de cálcio, foram introduzidos na tentativa de superar as propriedades do MTA<sup>18</sup>.

No entanto, o desenvolvimento dos cimentos biocerâmicos pode permitir resolver algumas das limitações encontradas. Nesta revisão sistemática integrativa, vamos estudar os seguintes cimentos biocerâmicos: Biodentine (Septodont, Saint Maur des Fossés, France) ; Endosequence (Brasseler, Savannah, Georgia, USA) ; Well-Root PT (Vericom, Gangwon-Do, Korea) ; Totalfill Putty (FKG Dentair, La Chaux-de-Fonds, Switzerland) ; BioAggregate (Innovative BioCeramix, Vancouver, Canada) ; Calcium Enriched Mixture (Bionique Dent, Tehran-Karaj, Iran).

## **II. OBJETIVOS E HIPÓTESES DE TRABALHO**

Nesta revisão sistemática integrativa da literatura, o principal objetivo é avaliar o desempenho dos novos cimentos biocerâmicos em comparação com o MTA na obturação retrógrada da microcirurgia endodôntica.

Assim, as características do cimento obturador serão estudadas e desenvolvidas através de objetivos secundários:

- Avaliar e comparar as capacidades de selamento através da porosidade, da adaptação marginal e da estanqueidade;
- Avaliar e comparar as propriedades físicas através da força de ligação, solubilidade, estabilidade física e microdureza;
- Avaliar e comparar as propriedades biológicas através da biocompatibilidade, citotoxicidade, bioatividade, reações químicas e atividade antibacteriana;
- Avaliar e comparar fatores como tempo de presa, manuseamento, radiopacidade e descoloração.

Foram desenvolvidas hipóteses de trabalho para orientar o nosso trabalho :

- O desempenho dos novos cimentos biocerâmicos é semelhante ao do MTA em

termos de capacidade de selamento, propriedades físicas e propriedades biológicas.

- Os novos cimentos biocerâmicos têm um tempo de presa mais adequado para a microcirurgia endodôntica.
- Os novos cimentos biocerâmicos têm um manuseamento mais adequado para a obturação retrógrada através do putty.
- Os novos cimentos biocerâmicos têm uma melhor radiopacidade.
- Os novos cimentos biocerâmicos não causam descoloração como o MTA.

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

#### a. Protocolo

Esta revisão sistemática integrativa foi realizada de acordo com as diretrizes PRISMA.

#### b. Critérios de elegibilidade

Os critérios de elegibilidade são os de um estudo qualitativo, com as perguntas de interesse baseadas na população do estudado (P), interesse nos diferentes cimentos biocerâmicos estudados (I) e contexto (Co).

Tabela 1 - Método PiCo : pergunta qualitativa

População (P)	Dentes com tratamento endodôntico cirúrgico
Interesse (I)	Cirurgia apical com obturação retrógrada com cimentos biocerâmicos
Contexto (C)	Cimentos biocerâmicos representam uma alternativa para o futuro

Neste inquérito, os critérios de elegibilidade foram sujeitos a critérios de inclusão e de exclusão.

Tabela 2 - Critérios de elegibilidades

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Artigos publicados nos últimos 10 anos : entre 2013 e 2023</li> <li>- Artigos escritos nos seguintes idiomas: francês, inglês e português</li> <li>- Artigos sobre microcirurgia endodôntica</li> <li>- Artigos sobre cimentos biocerâmicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Artigos publicados fora do período 2013-2023</li> <li>- Meta-análises e revisões sistemáticas</li> <li>- Artigos sobre tratamento endodôntico não cirúrgica, pulpotomia, capeamento pulpar direto ou indireto</li> <li>- Artigos sobre materiais obturadores não considerados tais como biocerâmicos</li> </ul>

### c. Fontes de informação

A pesquisa bibliográfica foi realizada na base de dados *Pubmed Advanced Search Builder* em janeiro de 2023, com intervalo de 2013 a 2023.

Apenas forma considerados artigos completos, de acesso livre e em formato PDF, após uma seleção inicial baseada no título e no resumo, em consonância com o tema da dissertação.

### d. Estratégia de busca

A realização da pesquisa via Pubmed com as seguintes palavras-chaves: “*apical microsurgery*”, “*apical surgery*”, “*endodontic microsurgery*”, “*endodontic surgery*”, “*root-end filling*”, “*bioceramic*”, “*silicate*”, “*bioactive*”.

Para fazer corresponder os diferentes termos de pesquisa, foram adicionados operadores booleanos como “AND” e “OR”. O resultado da composição obtida é o seguinte:

Tabela 3 - Estratégia de busca

Base de dados	Termos da pesquisa	Artigos entre 2013-2023	Artigos pré selecionados com título e resumo	Artigos selecionados
PubMed	(( <i>apical microsurgery</i> ) OR ( <i>apical surgery</i> ) OR ( <i>endodontic microsurgery</i> ) OR ( <i>endodontic surgery</i> ) OR ( <i>root-end filling</i> )) AND (( <i>bioceramic</i> ) OR ( <i>silicate</i> ) OR ( <i>bioactive</i> ))	537	41	23

### e. Seleção do estudo

Foram encontrados 953 artigos na base de dados PubMed.

Entretanto, após a aplicação dos critérios de inclusão (Tabela 2 - Critérios de elegibilidade), dela resultou a seleção de 537 artigos no processo de triagem sem a leitura do título e do resumo, o que corresponde à fase 1. Na fase 2, foram aplicados os critérios de exclusão (Tabela 2 - Critérios de elegibilidade) na leitura do título e resumo, resultando na seleção de 41 artigos. Na fase 3, os artigos finais lidos e incluídos no trabalho de revisão sistemática para inclusão nas tabelas de resultados foram 23.

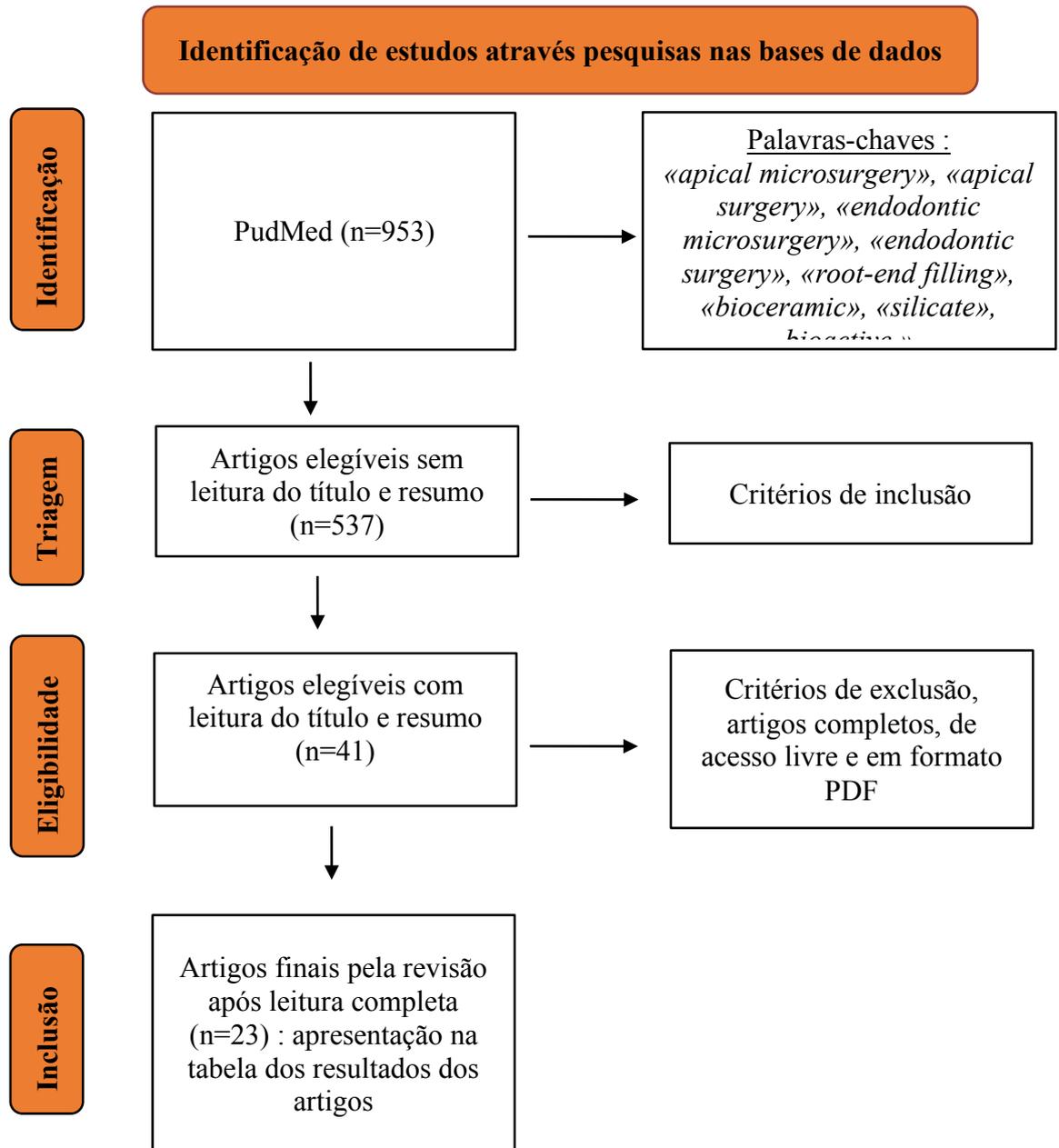


Figura 1 – Fluxograma PRISMA da seleção dos artigos

## IV. RESULTADOS

### a. Seleção dos artigos

Dos 23 artigos incluídos na nossa revisão sistemática, podemos classificá-los da seguinte forma:

- 7 artigos abordam a capacidade de selamento (porosidade, adaptação marginal e estanqueidade) - 32% dos artigos
- 4 artigos abordam as propriedades físicas (força de ligação, solubilidade, estabilidade física e microdureza) - 18% dos artigos
- 11 artigos abordam as propriedades biológicas (biocompatibilidade, citotoxicidade, bioatividade, reações químicas e atividade antibacteriana) - 50% dos artigos
- 4 artigos abordam outras características (tempo de presa, manuseamento, radiopacidade e descoloração) - 18% dos artigos.

### b. Itens de obtenção de dados

Para elaborar uma análise de cada um dos artigos, alguns critérios foram avaliados e classificados numa tabela, tais como: o título do artigo, os autores, o ano, o tipo de estudo, os objetivos, os materiais obturadores, os materiais e métodos, os resultados e a conclusão.

Tabela 4 – Apresentação dos resultados dos artigos

#### Abreviações dos diferentes materiais obturadores:

MTA - *Mineral Trióxido Agregado*

IRM - *Material Restaurador Intermédio*

BC-RRM - *Endosequence Root Repair Material BC = TotalFill BC Sealer*

FSP – *Fast Set Putty*

BC Sealer – *Endosequence BC Sealer*

BD – *Biodentine*

WR – *WellRoot PT*

EM Premixed – *Endocem MTA Premixed*

RetroMTA – *Retro Mineral Trióxido Agregado*

CEM – *Mistura Enriquecida com Cálcio*

BA – *BioAggregate*

MTA+ - *Mineral Trióxido Agregado Plus*

QS - *QuickSet*

Artigos : Título, Autores, Ano, Tipo de estudo	Objetivos	Materiais obturadores	Materiais e métodos	Resultados	Conclusões
<p><b>Título:</b> Comparison of the sealing ability of various bioceramic materials for endodontic surgery. <b>Autores</b> :Rencher B, Chang AM, Fong H, Johnson JD, Paranjpe A. <b>Ano</b> : 2021 <b>Tipo de estudo:</b> Estudo clinico <i>in-vitro</i></p>	<p>Comparar as propriedades de selagem entre as formas de BC-RRM pasta e putty com o MTA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• BC-RRM pasta</li> <li>• BC-RRM putty</li> </ul>	<p>42 dentes divididos em 5 grupos :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BC-RRM putty</li> <li>• BC-RRM putty + pasta</li> <li>• GMTA</li> <li>• Controlo positivo :guta-percha só</li> <li>• Controlo negativo : selamento do ápex</li> </ul> <p>Incubação durante 30 dias em <i>Enterococcus faecalis</i> e caldo BHI. Os dentes dos grupos foram seccionados e analisados utilizando SEM. O teste Kruskal-Wallis e a análise de variância foram utilizados para analisar os dados, com um nível de significância <math>p &lt; 0,05</math>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de selagem semelhante entre o BC-RRM e o MTA <math>&lt;1 OD_{600}</math>: 0,5 <math>OD_{600}</math> para o putty, 0,4 <math>OD_{600}</math> para a combinação de pasta com putty, 0,6 <math>OD_{600}</math> para o MTA.</li> <li>• Controlo positivo com vazamentos em todas as amostras.</li> </ul>	<p>O MTA, o BC-RRM putty ou o BC-RRM pasta + putty podem ser utilizados de forma eficaz durante o tratamento endodôntico microcirúrgico : não foram observadas diferenças significativas.</p>
<p><b>Título:</b> Dislodgement pushout resistance of five bioceramic root-end filling materials <b>Autores</b> : Mason J, Kirkpatrick T, Roberts HW <b>Ano</b> : 2022 <b>Tipo de estudo:</b> Estudo clinico <i>in-vitro</i></p>	<p>Avaliar a resistência ao estresse de 5 materiais biocerâmicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• BD</li> <li>• BC-RRM</li> <li>• FSP</li> <li>• BC Sealer</li> </ul>	<p>100 dentes de raiz única com um canal : secção apical de 3 mm e coroa ressecada para obter 14 mm de comprimento padronizado. 5 grupos (n=20) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA,</li> <li>• BD,</li> <li>• BC-RRM,</li> <li>• FSP,</li> <li>• BC Sealer.</li> </ul> <p>Carga de teste estático apical-coronal com uma força de deslocamento em MPa. Dados analisados com os testes de Kruskal-Wallis e Dunn's post hoc.</p>	<p>Resistência ao empuxo (MPa) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA = 5,2 MPa</li> <li>• BD = 3,0 MPa</li> <li>• BC-RRM = 1,5 MPa</li> <li>• FSP= 1,6 MPa</li> <li>• BC Sealer = 1,5 MPa.</li> </ul> <p>Não houve diferença significativa (<math>p=0,146</math>) na resistência ao empuxo entre o MTA e a BD, que demonstraram uma resistência ao deslocamento significativamente maior (<math>p&lt;0,002</math>) do que os materiais semelhantes EndoSequence (BC-RRM, FSP e BC Sealer) (<math>p&gt;0,999</math>).</p>	<p>O MTA e a BD apresentam uma resistência ao stress significativamente maior do que os BC-RRM, FSP e BC Sealer.</p>

<p><b>Titulo</b> : Bioceramic root repair material for root-end obturation in apical surgery. An analysis of 174 teeth after 1 year <b>Autores</b> : Von Arx T, Janner SFM, Haenni S, Bornstein MM <b>Ano</b> : 2020 <b>Tipo de estudo</b> : Estudo clinico comparativo</p>	<p>Analisar os resultados 1 ano após os tratamentos com cirurgia apical e utilização de BC-RRM.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BC-RRM pasta regular</li> <li>• BC-RRM putty rápido</li> </ul>	<p>150 pacientes com 174 dentes tratados: dados recolhidos 1 ano após a cirurgia para uma reavaliação clínica e radiográfica. A cicatrização periapical foi classificada como bem-sucedida, incerta ou falhada, com base nos resultados clínicos e na avaliação radiográfica periapical. Os parâmetros do estudo incluíram sexo, idade, tipo de dente tratado e tipo de BC-RRM utilizado (putty regular VS putty rápido).</p>	<p>A taxa de desistência foi de 2,3% com 170 dentes reexaminados sobre 174 dentes tratados. Os resultados da avaliação : • Bem-sucedidos : 94,1%, • Incertos : 4,1%, • Falhados : 1,8%. Não foram observadas diferenças significativas entre as várias subcategorias de estudo.</p>	<p>O BC-RRM parece ser um material biocompatível de preenchimento da extremidade radicular.</p>
<p><b>Titulo</b> : Filling ability of three bioceramic root-end filling materials: A micro-computed tomography analysis <b>Autores</b> : Toia CC, Teixeira FB, Cucco C, Valera MC, Cavalcanti BN <b>Ano</b> : 2020 <b>Tipo de estudo</b> : Estudo clinico <i>in vitro</i></p>	<p>Avaliar o volume de lacunas, de vazios e a percentagem total de porosidade de 3 materiais à base de silicato de cálcio em apicectomia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BC-RRM Putty</li> <li>• MTA</li> <li>• BD</li> </ul>	<p>33 raízes de molares extraídos que foram instrumentadas e obturadas. As imagens tridimensionais foram obtidas através da digitalização com um scanner Micro-CT e reconstruídas. Os percentuais de lacunas (VG%), de vazios (VV%) e de porosidade (Po%) foram determinados para avaliação. Os dados foram analisados utilizando o teste t de Student (<math>P &lt; 0,05</math>).</p>	<p>Resultados das avaliações : • VG % : BC-RRM = 2,006, MTA = 1,882, BD = 1,450 • VV % : BC-RRM = 0,039, MTA = 0,021, BD = 0,024 • Po% : BC-RRM = 56,73, MTA = 51,94, BD = 50,45</p>	<p>Todos os materiais apresentaram lacunas e vazios sem diferença estatística. O BC-RRM foi estatisticamente mais poroso do que a BD e o MTA.</p>
<p><b>Titulo</b> : Physicochemical, Antibacterial Properties of Bioactive Retrograde Filling Materials <b>Autores</b> : Ashi T, Mancino D, Hardan L, Bourgi R, Zghal J, Macaluso V, Al-Ashkar S, Alkhouri S, Haikel Y, Kharouf N <b>Ano</b> : 2022 <b>Tipo de estudo</b> : estudo clinico <i>in-vitro</i></p>	<p>Avaliar as propriedades físico-químicas e a atividade antibacteriana de 3 cimentos de silicato de cálcio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• BD</li> <li>• WR</li> </ul>	<p>5 amostras para medir : • a atividade antibacteriana contra <i>E. faecalis</i>, • a solubilidade, • a rugosidade, • as alterações de pH, • o ângulo de contacto da água. Análise estática com testes de Kruskal-Wallis e Tukey (<math>p=0,05</math>).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boa atividade antibacteriana (mata 50% das bactérias) do BD, WR e MTA após 24h de contacto: ausência de diferença estatística.</li> <li>• BD mais solúvel que WR e MTA.</li> <li>• A rugosidade e a molhabilidade do MTA foi mais elevadas do que para os outros cimentos.</li> <li>• pH estatisticamente significativo mais baixo para BD do que para WR e MTA.</li> </ul>	<p>MTA, BD e WR têm ações bactericidas, formam fosfato de cálcio e possuem solubilidade comparáveis. O WR é mais fácil de usar, já que é pré-misturado, enquanto o MTA e a BD são apresentados na forma de pó-líquido.</p>

<p><b>Titulo</b> : A New Calcium Silicate-based Bioceramic Material Promotes Human Osteo- and Odontogenic Stem Cell Proliferation and Survival via the Extracellular Signal-regulated Kinase Signaling Pathway</p> <p><b>Autores</b> : Chen I, Salhab I, Setzer FC, Kim S, Nah HD.</p> <p><b>Ano</b> : 2016</p> <p><b>Tipo de estudo</b>: estudo clinico <i>in-vitro</i></p>	<p>Avaliar a adesão odontogênica e osteogênica, a ação proliferadora, a sobrevivência na superfície do BC-RRM e do MTA. O papel da ERK nas atividades celulares do BC-RRM/MTA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BC-RRM</li> <li>• MTA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A proliferação celular foi avaliada após 1, 3, e 5 dias de crescimento.</li> <li>• A sobrevivência celular foi avaliada em condições de baixo teor de soro (0,5% e 0,2% soro) usando ensaios de MTT.</li> <li>• As características de superfície do BC-RRM e do MTA e a morfologia celular foram estudadas usando um microscópio electrónico de varredura.</li> <li>• O papel da sinalização de ERK na proliferação/sobrevivência celular induzida por BC-RRM/MTA foi estudado usando um inibidor específico de ERK.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A proliferação celular foi significativamente maior nas superfícies revestidas com BC-RRM/MTA.</li> <li>• O efeito mitogênico nas células estaminais do ligamento periodontal e da polpa dentária foi mais pronunciado com BC-RRM do que com MTA.</li> <li>• As células cultivadas em superfícies BC-RRM/MTA mostraram uma regulação sustentada da fosforilação da ERK, o que reduziu significativamente a sobrevivência das células dependentes de BC-RRM e MTA.</li> </ul>	<p>MTA e BC-RRM são materiais biocompatíveis que promovem a proliferação e sobrevivência celular de forma dependente da sinalização de ERK.</p>
<p><b>Titulo</b> : Properties of calcium silicate-monobasic calcium phosphate materials for endodontics containing tantalum pentoxide and zirconium oxide</p> <p><b>Autores</b> : Zamparini F, Siboni F, Prati C, Taddei P, Gandolfi MG.</p> <p><b>Ano</b> : 2019</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : Estudo clinico</p>	<p>Avaliar as propriedades físico-químicas e a capacidade de formação de apatite de 3 materiais pré-misturados à base de silicato de cálcio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BC-Sealer</li> <li>• BC-RRM Pasta</li> <li>• BC-RRM Putty</li> </ul>	<p>Foram realizados os seguintes testes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• análises microquímicas e micromorfológicas,</li> <li>• radiopacidade,</li> <li>• tempos de presa inicial e final,</li> <li>• libertação de cálcio,</li> <li>• atividade alcalinizante.</li> </ul> <p>A avaliação da nucleação de fosfatos de cálcio (CaPs) apatita foi realizada após 28 dias de envelhecimento utilizando ESEM-EDX e espectroscopia micro-Raman.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Camada mineral na superfície após 28 dias foi mais elevada com BC-RRM Putty e Pasta.</li> <li>• Radiopacidade foi boa para BC-Sealer e BC-RRM Pasta, e excelente para BC-RRM Putty.</li> <li>• Tempo de presa inicial de 2h para BC-RRM Putty, em comparação com 23h para BC-Sealer e BC-RRM Pasta. Tempo de presa final foi de 27h para BC-RRM Putty e 52h para BC-Sealer e BC-RRM Pasta.</li> <li>• Libertação de cálcio e fósforo com picos observados no EDX.</li> <li>• Alcalinização marcada (pH 11-12) até 28 dias.</li> </ul>	<p>BC-Sealer, BC-RRM Pasta e BC-RRM Putty atendem às normas químicas e físicas exigidas e liberam íons biologicamente relevantes.</p>

<p><b>Título</b> : Sealing ability of two root-end filling materials in a bacterial nutrient leakage model</p> <p><b>Autores</b> : Antunes HS, Gominho LF, Andrade-Junior CV, Dessaune-Neto N, Alves FR, Rôças IN, Siqueira JF Jr</p> <p><b>Ano</b> : 2015</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : Estudo clinico <i>in vitro</i></p>	<p>Comparar a capacidade de selagem dos preenchimentos radiculares com MTA e BC-RRM Putty.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• BC-RRM putty</li> </ul>	<p>60 incisivos, com 4 grupos :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• grupo com MTA, n=20</li> <li>• grupo com BC-RRM putty, n=20</li> <li>• grupo de controlo positivo : guta-percha quente sem selador, n=10</li> <li>• grupo controlo negativo : cera coberta com verniz, n=10</li> </ul> <p>A análise estatística foi realizada utilizando os testes Mann-Whitney e de Fisher, após incubação por 30 dias e inoculação com <i>E. faecalis</i>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No grupo MTA, 50% espécimes tinham bactérias viáveis detectáveis nos canais (média, <math>8,97 \times 10^3</math> UFC).</li> <li>• No grupo BC-RRM Putty, 28% espécimes foram positivas para o crescimento bacteriano (média, <math>2,88 \times 10^4</math> UFC).</li> <li>• Não houve diferença significativa ao comparar os dados quantitativos ou de presença/ausência entre os grupos MTA e BC-RRM Putty.</li> </ul>	<p>Capacidade de selagem semelhante entre o MTA e o BC-RRM na prevenção de vazamentos com bactérias residuais.</p>
<p><b>Título</b> : Root-end microsurgery using a premixed tricalcium silicate putty as root-end filling material: a prospective study</p> <p><b>Autores</b> : Taha NA, Aboyounes FB, Tamimi ZZ</p> <p><b>Ano</b> : 2020</p> <p><b>Tipo de estudo</b>: estudo prospectivo</p>	<p>Avaliar o resultado clínico e radiográfico utilizando uma massa de silicato de cálcio pré-misturada e rápida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TotalFill FS putty</li> </ul>	<p>50 dentes foram examinados clinicamente e radiograficamente pós-operatório, 3 meses, 6 meses e 1 ano.</p> <p>O resultado foi determinado com base nos resultados clínicos e radiográficos.</p> <p>A cura radiográfica foi classificada em 4 categorias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• completa,</li> <li>• incompleta,</li> <li>• incerta,</li> <li>• insatisfatória.</li> </ul> <p>Foi utilizado o teste de Fisher ou o teste de Pearson.</p>	<p>As taxas de recolha foram :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 85% aos 3 meses,</li> <li>• 100% aos 6 meses,</li> <li>• 95% a 1 ano.</li> </ul> <p>1 dente falhou aos 3 meses, 3 falharam aos 1 ano, resultando uma taxa de sucesso de 93%.</p>	<p>Total Fill FS putty apresenta propriedades biológicas promissoras. Sua formulação pré-misturada e de rápida fixação tem demonstrado altas taxas de sucesso.</p>

<p><b>Titulo</b> : Healing after root-end microsurgery by using mineral trioxide aggregate and a new calcium silicate-based bioceramic material as root-end filling materials in dogs</p> <p><b>Autores</b> : Chen I, Karabucak B, Wang C, Wang HG, Koyama E, Kohli MR, Nah HD, Kim S.</p> <p><b>Ano</b> : 2015</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : estudo clínico <i>in vivo</i></p>	<p>Comparar a cicatrização após cirurgia apical, utilizando o MTA e o BC-RRM em um modelo animal.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• BC-RRM</li> </ul>	<p>55 pré-molares com lesões periapicais :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupo de controlo com TENC</li> <li>• Grupo tratado com MTA</li> <li>• Grupo tratado com BC-RRM.</li> </ul> <p>Após 6 meses da cirurgia, a cura da área periapical foi avaliada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• por radiografias periapicais,</li> <li>• por tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC),</li> <li>• por microtomografia computadorizada (TC),</li> <li>• por histologia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resposta inflamatória mínima ou nula observada na maioria das áreas periapicais.</li> <li>• A taxa de cicatrização completa avaliada por radiografias periapicais não apresentou diferença estatisticamente significativa <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupo BC-RRM = 92,6%</li> <li>- Grupo MTA = 75%.</li> </ul> </li> <li>• CBCT e micro CT: BC-RRM com cicatrização significativamente superior na superfície da raiz ressecada e na área periapical.</li> </ul>	<p>Tanto o MTA quanto o BC-RRM são considerados biocompatíveis e apresentam capacidade de selagem.</p> <p>No entanto, neste modelo animal, o BC-RRM demonstrou uma cicatrização superior dos tecidos adjacentes em comparação do MTA.</p>
<p><b>Titulo</b> : Biocompatible Properties and Mineralization Potential of Premixed Calcium Silicate-Based Cements and Fast-Set Calcium Silicate-Based Cements on Human Bone Marrow-Derived Mesenchymal Stem Cells</p> <p><b>Autores</b> : Kim Y, Lee D, Kye M, Ha YJ, Kim SY.</p> <p><b>Ano</b> : 2022</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : Estudo clínico <i>in vitro</i></p>	<p>Analisar a biocompatibilidade e bioatividade dos cimentos pré-misturados em comparação com o MTA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EM Premixed</li> <li>• BC-RRM putty</li> <li>• RetroMTA</li> <li>• MTA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Citotoxicidade avaliada pelo teste CCK-8 após 2, 4 e 6 dias de incubação.</li> <li>• Migração celular medida em dias 1, 2, 3 e 4 no microscópio.</li> <li>• Atividade da fosfatase alcalina avaliada após 3 e 6 dias com a análise ALP.</li> <li>• Medição do potencial de mineralização por coloração vermelha-S de Alizarina.</li> <li>• Reações em cadeia de polimerase em tempo real medidas após 9 e 14 dias.</li> </ul> <p>Análises estatísticas realizadas com o software SPSS e teste post-hoc de Tukey (p&lt;0,05).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proliferação celular maior para EM Premixed (dias 2 e 4) e MTA (dia 6) em comparação com o grupo controle.</li> <li>• Migração celular completa no 4º dia para todos os materiais.</li> <li>• A coloração vermelha-S de Alizarina e o ensaio de fosfatase alcalina mostraram um potencial de mineralização mais elevado para EM Premixed e BC-RRM putty.</li> <li>• BC-RRM apresentou up-regulação dos genes SMAD1 e OSX, e todos os cimentos promoveram a expressão do gene osteogênico.</li> </ul>	<p>A utilização de cimentos pré-misturados e de rápida fixação como cimentos de preenchimento retrógrado pode resultar em respostas biológicas facilitadas e um potencial osteogênico comparável ao MTA.</p>

<p><b>Titulo</b> : Retrospective Analysis of Root-end Microsurgery Outcomes in a Postgraduate Program in Endodontics Using Calcium Silicate-based Cements as Root-end Filling Materials</p> <p><b>Autores</b> : Chan S, Glickman GN, Woodmansey KF, He J.</p> <p><b>Ano</b> : 2020</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : estudo retrospectivo</p>	<p>Determinar os resultados clínicos e radiográficos da microcirurgia com o MTA e o BC-RRM, e identificar os potenciais factores prognósticos para a cicatrização.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• BC-RRM</li> </ul>	<p>Um total de 129 pacientes com 142 dentes foram incluídos na análise final : 77 casos com o MTA e 66 com o BC-RRM.</p> <p>Os resultados foram categorizados com base em resultados clínicos e radiográficos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• curados e cicatrizantes: considerados como sucesso.</li> <li>• não cicatrizantes: considerados como fracasso.</li> </ul>	<p>Taxa de sucesso sem diferença significativa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA : 92,1%</li> <li>• BC-RRM : 92,4%</li> </ul> <p>Não foi identificado qualquer fator relacionado com o paciente ou tratamento que tivesse impacto significativo na cicatrização.</p>	<p>As características do MTA e BC-RRM permitem altos índices de sucesso na cirurgia apical.</p>
<p><b>Titulo</b> : Evaluation of the bond strength of root-end placed mineral trioxide aggregate and Biodentine in the absence/presence of blood contamination</p> <p><b>Autores</b> : Akcay H, Arslan H, Akcay M, Mese M, Sahin NN</p> <p><b>Ano</b> : 2016</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : estudo clinico <i>in-vitro</i></p>	<p>Avaliar a resistência de ligação do MTA e da Biodentine na ausência ou presença de contaminação sanguínea.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• Biodentine</li> </ul>	<p>Foram avaliados 48 incisivos em 4 grupos (n=12) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA com ausência de sangue</li> <li>• MTA com presença de sangue</li> <li>• Biodentine com ausência de sangue</li> <li>• Biodentine com presença de sangue.</li> </ul> <p>Foram realizados testes de <i>push-out</i> com avaliação no estereomicroscópio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A presença de sangue afeta significativamente a resistência de ligação do material obturador.</li> <li>• Biodentine apresentou melhor resistência de ligação do que o MTA, mas não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.</li> </ul>	<p>Tanto a BD quanto o MTA são afetados pela presença de sangue, sendo que a BD apresenta maior resistência de ligação do que o MTA.</p>

<p><b>Titulo</b> : Use of a new retrograde filling material (Biodentine) for endodontic surgery: two case reports <b>Autores</b> : Caron G, Azérad J, Faure MO, Machtou P, Boucher Y. <b>Ano</b> : 2014 <b>Tipo de estudo</b> : Estudo de caso</p>	<p>Avaliar a utilização da Biodentine em dois casos clínicos diferentes, dois anos após a cirurgia endodôntica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biodentine</li> </ul>	<p>2 casos clínicos :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lesão periapical no dente 25, sem dor à percussão ou palpação, em mulher de 48 anos.</li> <li>• Lesão periapical no dente 25, com dor à percussão ou palpação, e antecedente de falha no retratamento com excesso de preenchimento sem possibilidade de remoção.</li> </ul> <p>Avaliações realizadas após 3, 6, 12 e 24 meses.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Após 1 ano: ambos os casos apresentaram curado completa.</li> <li>• Após 2 anos: confirmação da cura em ambos os casos.</li> </ul> <p>Exame clínico: ausência de sintomatologia. Exame radiográfico: espaço ligamentar periodontal normal.</p>	<p>A BD possui excelentes propriedades biológicas, mas apresenta baixa radiopacidade e pode ser difícil manuseio. Ele é adequado para o uso na cirurgia endodôntica.</p>
<p><b>Titulo</b> : Biodentine versus Mineral Trioxide Aggregate versus Intermediate Restorative Material for Retrograde Root End Filling: An Invitro Study <b>Autores</b>: Soundappan S, Sundaramurthy JL, Raghu S, Natanasabapathy V. <b>Ano</b> : 2014 <b>Tipo de estudo</b> : Estudo clínico <i>in vitro</i></p>	<p>Avaliar a adaptação marginal da BD em comparação com o MTA e o IRM, utilizando a SEM.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BD</li> <li>• MTA</li> <li>• IRM</li> </ul>	<p>30 incisivos, divididos em 3 grupos (n=10) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupo 1 : MTA,</li> <li>• Grupo 2 : BD,</li> <li>• Grupo 3 : IRM.</li> </ul> <p>Análise estatística realizada com ANOVA unidirecional. Teste post-hoc de Tukey HSD para análise entre os grupos e teste t pareado para análise dentro dos grupos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não houve diferença estatisticamente significativa entre o MTA e o IRM, mas ambos foram superiores em comparação ao BD.</li> <li>• Aos 1mm, não houve diferença estatisticamente significativa entre nenhum dos materiais testados.</li> <li>• Aos 2mm, o MTA foi superior tanto ao IRM quanto ao BD.</li> </ul>	<p>A adaptação marginal da BD é inferior ao MTA e ao IRM.</p>
<p><b>Titulo</b> : Comparison of the radiopacities of different root-end filling and Repair materials <b>Autores</b> : Tanalp J, Karapinar-Kazandag M, Dölekoglu S, Kayahan MB <b>Ano</b> : 2013 <b>Tipo de estudo</b> : estudo clinico <i>in vitro</i></p>	<p>Avaliar a radiopacidade de três materiais de reparação : BD, MM-MTA e MTA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BD</li> <li>• MM-MTA</li> <li>• MTA</li> </ul>	<p>3 grupos (n=10) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BD,</li> <li>• MM-MTA,</li> <li>• MTA.</li> </ul> <p>Análise estatística realizada com software, utilizando ANOVA unidirecional para comparação entre os grupos e teste Tukey HSD.</p>	<p>Radiopacidade :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biodentine : 2,8 +/- 0,48mm Al,</li> <li>• MTA : 4,72 +/- 0,45 mm Al,</li> <li>• MM-MTA : 5,18 ± 0,51 mm Al.</li> </ul>	<p>A radiopacidade da BD é menor do que a do MTA e do MM-MTA.</p>

<p><b>Titulo</b> : Marginal adaptation of new bioceramic materials and mineral trioxide aggregate: a scanning electron microscopy study</p> <p><b>Autores</b> : Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Ashoftehyazdi K, Zahraee S, Khoshkhounejad M.</p> <p><b>Ano</b> : 2014</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : Estudo clinico <i>in vitro</i></p>	<p>Comparar a adaptação marginal dos novos materiais biocerâmicos, BC-RRM putty e BC-RRM pasta, com o MTA na obturação retrógrada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BC-RRM putty</li> <li>• BC-RRM pasta</li> <li>• MTA</li> </ul>	<p>36 dentes, 3 grupos com n=12 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA,</li> <li>• BC-RRM putty,</li> <li>• BC-RRM pasta.</li> </ul> <p>Realizar secções transversais e longitudinais para medir lacunas com o uso de SEM.</p> <p>Utilizar o teste de Kruskal-Wallis para análise estatística.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Às secções transversais: não foram encontradas diferenças significativas (P=0,31).</li> <li>• Às secções longitudinais: foram observadas maiores lacunas para o BC-RRM pasta e nas paredes dentinárias em comparação com o MTA e o BC-RRM putty (P=0,002 e P=0,033, respetivamente).</li> <li>• Os valores globais das lacunas não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os três grupos de teste (P=0,17).</li> </ul>	<p>Adaptação marginal do BC-RRM pasta e putty pode ser comparada com a do MTA.</p> <p>O BC-RRM putty é mais adequado para o preenchimento de cavidades radiculares devido à sua superior adaptação em secções longitudinais.</p>
<p><b>Titulo</b> : Effects of newly-developed retrograde filling material on osteoblastic differentiation in vitro</p> <p><b>Autores</b> : Lee GW, Yoon JH, Jang JH, Chang H-S, Hwang YC, Hwang IN Oh et al</p> <p><b>Ano</b> : 2019</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : Estudo clinico <i>in vitro</i></p>	<p>Comparar propriedades químicas e bioatividades do MTA e BC-RRM.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• BC-RRM putty</li> </ul>	<p>Observar 3 grupos por meio de microscopia eletrónica de varrimento (SEM) : MTA, BC-RRM e grupo de controlo :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• o pH: medições após 3h, 24h, 7 dias e 14 dias,</li> <li>• a viabilidade celular: absorvência a 420nm,</li> <li>• a diferenciação osteoblástica,</li> <li>• a atividade da fosfatase alcalina (ALP) : medidas por PCR quantitativa em tempo real e coloração ALP.</li> </ul> <p>Realizar teste Tukey post hoc (p&lt;0,05) para comparações múltiplas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O BC-RRM apresentou pH inferior ao MTA.</li> <li>• Ambos os materiais mostraram boas propriedades de viabilidade celular.</li> <li>• O MTA apresentou cristais em forma de fuso; enquanto o BC-RRM apresentou cristais em forma redonda de vários tamanhos.</li> <li>• Os níveis de expressão dos genes osteoblásticos e a coloração ALP foram significativamente aumentados (p&lt;0,05) nos grupos BC-RRM e MTA em comparação com o grupo controlo.</li> </ul>	<p>Tanto o BC-RRM quanto o MTA apresentaram resultados similares em termos de citotoxicidade, pH alcalino e efeitos na diferenciação osteoblástica.</p>

<p><b>Titulo</b> : Comparative scanning electron microscopic study of the marginal adaptation of four root-end filling materials in presence and absence of blood</p> <p><b>Autores</b> : Bolhari B., Yazdi K.A., Sharifi F., Pirmoazen S.,</p> <p><b>Ano</b> : 2014</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : estudo experimental <i>in-vitro</i></p>	<p>Avaliar a adaptação marginal do MTA, CEM, BD e BA em presença de soro fisiológico normal e sangue humano.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• CEM</li> <li>• BD</li> <li>• BA</li> </ul>	<p>80 dentes com 4 grupos com n=20 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• CEM</li> <li>• BD</li> <li>• BA</li> </ul> <p>10 de cada grupo foram expostos a soro fisiológico normal, e os outras 10 amostras foram expostas a sangue humano fresco.</p> <p>Após 4 dias, a análise foi realizada por meio de microscopia eletrónica de varrimento (SEM).</p> <p>A análise estatística foi realizada utilizando os testes Kruskal-Wallis e Mann-Whitney (<math>P &lt; 0,05</math>),</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não foram encontradas diferenças significativas na adaptação marginal entre os 8 grupos testados (<math>P &gt; 0,05</math>).</li> </ul>	<p>A contaminação com sangue não afetou a adaptação marginal do MTA, cimento CEM, Biodentine ou BioAggregate.</p>
<p><b>Titulo</b> : Cytotoxicity and Initial Biocompatibility of Endodontic Biomaterials (MTA and Biodentine™) Used as Root-End Filling Materials</p> <p><b>Autores</b> : Escobar-Garcia, D.M., Aguirre-Lopez, E., Mendez-Gonzalez, V., Pozos-Guillen, A.</p> <p><b>Ano</b> : 2016</p> <p><b>Tipo de estudo</b> : Estudo clínico <i>in vitro</i></p>	<p>Avaliar a citotoxicidade e adesão celular do MTA e BD em fibroblastos do ligamento periodontal (PDL).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• BD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para a avaliação da profusão celular, foi utilizado o teste MTS.</li> <li>• Para a avaliação da adesão celular, foi realizada imunocitoquímica para discernir a expressão de Integrina <math>\beta 1</math> e Vinculina em 12 horas e 24 horas.</li> </ul> <p>A análise estatística foi realizada pelos testes Kruskal-Wallis e Mann-Whitney U.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA e BD apresentaram células vivas até 7 dias.</li> <li>• O grupo controlo apresentou maior expressão de Integrina <math>\beta 1</math> e Vinculina. BD e MTA mostraram perda celular e alterações morfológicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BD e MTA não apresentaram citotoxicidade no PDL por até 5 dias.</li> <li>• BD foi mais biocompatível do que MTA neste estudo.</li> <li>• Aumento da adesão celular, porém sem significância estatística.</li> </ul>
<p><b>Titulo</b> : In vitro cytotoxicity of calcium silicate-based endodontic cement as root-end filling materials</p> <p><b>Autores</b> : Kuçukkaya S., Gorduysus Mo., Zeybek ND, Muftuoglu SF.</p>	<p>Avaliar a citotoxicidade de 3 tipos de cimento endodôntico à base de silicato de cálcio após diferentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MTA</li> <li>• CEM</li> <li>• BD</li> </ul>	<p>3 grupos com n=9 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Viabilidade celular: ensaio WST-1 após 24h, 48h e 72h.</li> </ul> <p>A análise estatística realizada por meio de ANOVA com medidas repetidas e testes de Bonferroni.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viabilidade celular: não foram observadas diferenças significativas (<math>P &gt; 0,05</math>).</li> <li>• MTA e CEM apresentaram mais de 90% de viabilidade celular após 24 e 48 horas de incubação, porém houve uma diminuição estatisticamente significativa</li> </ul>	<p>Apesar das mudanças significativas na viabilidade celular ao longo do tempo, os materiais apresentaram</p>

<p><b>Ano</b> : 2016 <b>Tipo de estudo</b> : Estudo clinico <i>in vitro</i></p>	<p>períodos de incubação com fibroblastos do ligamento periodontal humano.</p>			<p>na viabilidade celular após 72 horas de incubação (<math>P &lt; 0,05</math>).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>BD apresentou significativamente menor viabilidade celular (73%) após 24 horas de incubação, enquanto mais de 90% de viabilidade celular foi observada após 48 e 72 horas de incubação (<math>P &lt; 0,05</math>).</li> </ul>	<p>citotoxicidade semelhante. BD e CEM podem ser alternativas para obturação em cirurgias apicais.</p>
<p><b>Título</b> : A comparative evaluation of sealing ability of three recent root-end filling materials: an in vitro study. <b>Autores</b> :Saraswathi, D.D., Tejavath, S.K., Babu, M.R., Swetha, B., Gandhi, B. <b>Ano</b> : 2015 <b>Tipo de estudo</b> : Estudo clínico <i>in vitro</i></p>	<p>Comparar a capacidade de selagem apical do MTA, MTA+ e BD.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MTA</li> <li>MTA+</li> <li>BD</li> </ul>	<p>40 incisivos com 5 grupos (2 grupos controlo e 3 grupos experimentais) de 28 amostras cada.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grupo 1: ausência preparação apical, revestido com três camadas de verniz de unhas,</li> <li>Grupo 2: obturado com guta-percha,</li> <li>Grupo 3: obturado com BD,</li> <li>Grupo 4: obturado com MTA+,</li> <li>Grupo 5: obturado com MTA.</li> </ul> <p>Imersão em 2% de corante Rodamina B durante 72 h. Os dentes foram seccionados longitudinalmente e examinados sob estereomicroscópio.</p>	<p>Microinfiltrações :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grupo 1 : 0 mm</li> <li>Grupo 2 : 1,8732 mm</li> <li>Grupo 3 : 1,6392 mm</li> <li>Grupo 4 : 1,1642 mm</li> <li>Grupo 5 : 1,6178 mm</li> </ul> <p>MTA+ apresentou menos microinfiltrações em comparação com BD e MTA.</p>	<p>MTA+ demonstrou uma capacidade de selamento superior em comparação a BD e ao MTA.</p>
<p><b>Título</b> : Evaluation of compressive strength of hydraulic silicate-based root-end filling materials <b>Autores</b> : Walsh, R.M., Woodmansey, K.F., Glickman, G.N., He, J. <b>Ano</b> : 2014 <b>Tipo de estudo</b> : estudo experimental</p>	<p>Avaliar o efeito do FBS na fixação e resistência à compressão dos seguintes cimentos de silicato hidráulico: MTA, BC-RRM, MTA+, QS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MTA</li> <li>BC-RRM</li> <li>MTA+</li> <li>QS</li> </ul>	<p>4 grupos com n=40 dividido em amostras expostas durante 7 dias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grupo FBS,</li> <li>Grupo soro fisiológico.</li> </ul> <p>Testes Tukey e análise post hoc (<math>p &lt; 0,05</math>) para determinar as resistências compressivas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>QS teve uma resistência à compressão significativamente inferior aos outros (<math>P &lt; .001</math>).</li> <li>MTA e MTA+ misturados com líquido tiveram uma resistência compressiva mais baixa após exposição ao FBS (<math>P = .003</math>).</li> <li>BC-RRM, MTA+ misturado com gel e QS não foram afetados pela exposição ao FBS.</li> </ul>	<p>QS e MTA têm uma resistência à compressão semelhante. Os materiais pré-misturados e aqueles misturados com gel anti-lavagem mantêm sua resistência à compressão quando expostos a fluidos biológicos.</p>

### c. Síntese dos resultados

#### i. Capacidade de selamento

Em 2021, B. Rencher, comparou as propriedades de selamento entre o MTA e os BC-RRM pasta e putty. Os três materiais não apresentam diferenças em relação à estanqueidade, com uma contagem de bactérias inferior a  $1,0 OD_{600} : 0,5 OD_{600}$  para o putty,  $0,4 OD_{600}$  para a combinação de pasta com putty,  $0,6 OD_{600}$  para o MTA. Os BC-RRM pasta e putty são considerados eficazes e eficientes para a microcirurgia endodôntica <sup>4</sup>.

O estudo de 2020 de CC. Toia permitiu a avaliação das características de selamento de três cimentos biocerâmicos, o BC-RRM, o MTA e a Biodentine. Foram medidas, por meio do Micro-CT, as lacunas (2,006%, 1,882%, 1,450%), os vacúlos (0,039%, 0,021%, 0,024%) e a porosidade (56,73%, 51,94%, 50,45%). Os resultados são semelhantes, salvo pela porosidade do BC-RRM, que é bem superior <sup>11</sup>.

A comparação realizada por HS. Antunes sobre a estanqueidade dos biocerâmicos para impedir as fugas de nutrientes das bactérias residuais, realizada com o MTA e o BC-RRM putty, levou a resultados equivalentes. Por certo, não houve diferença entre os dados quantitativos, com contagem das bactérias remanescentes de  $8,97 \times 10^3$  CFU para o MTA e  $2,88 \times 10^4$  CFU para o BC-RRM, ou qualitativos, com número de espécimes com bactérias viáveis, com 50% de células *E. faecalis* detetáveis para o MTA e 28% para o BC-RRM <sup>19</sup>.

Em 2014, S. Soundappan confrontou a adaptação marginal entre o MTA, o Biodentine e o IRM e observou a superioridade do MTA na seção da raiz a 2mm :  $0,738 \pm 0,466 \mu\text{m}$ ,  $1,489 \pm 0,459 \mu\text{m}$  e  $1,362 \pm 0,425 \mu\text{m}$  <sup>14</sup>.

No estudo clínico *in vitro* de Shokouhinejad, em 2014, foi comparada a adaptação marginal entre o BC-RRM putty, o BC-RRM pasta e o MTA. Existem semelhanças parecidas entre os resultados dos BC-RRM e do MTA :  $P=0,17$ . No entanto, o BC-RRM putty e o MTA apresentam uma adaptação superior em seções longitudinais :  $P=0,033$  e  $P=0,002$  <sup>15</sup>.

B. Bolhari, em 2014, avaliou a adaptação marginal entre o MTA, o Calcium Enriched Mixture (CEM), o Biodentine e o BioAggregate quando expostos à presença de soro fisiológico ou de sangue humano. Não foi encontrada nenhuma diferença relevante, apenas que no resultado final a contaminação através do sangue não afeta a adaptação marginal desses biocerâmicos <sup>7</sup>.

A análise sobre o selamento apical efetuado em 2015 por D.D. Saraswathi mostra que o MTA Plus, utilizado como material obturador, apresentou menos micro-infiltrações (1,2642mm) em comparação com o Biodentine (1,6392mm) e o MTA (1,6178mm) <sup>10</sup>.

## **ii. Propriedades físicas**

Em 2022, J. Mason avaliou a resistência à compressão com o teste “*push-out*” e demonstrou resultados superiores no que respeita ao MTA e Biodentine com 5,2 MPa e 3,0 MPa, comparativamente com o BC-RRM, o FSP e o BC Sealer com valores entre 1,5 e 1,6 MPa <sup>1</sup>.

O estudo de 2022 de T. Ashi sobre as características físicas, como solubilidade, rugosidade e humedecimento, mostrou que a solubilidade da Biodentine é superior ao MTA e ao Well-Root PT, mas os três materiais apresentam solubilidade abaixo de 3% da massa. Em relação à rugosidade, é o Well-Root PT que apresenta a hidrofiliabilidade mais alta <sup>18</sup>.

Em 2016, H. Akcay estudou a força de ligação do MTA e da Biodentine na obturação retrógrada. A presença de sangue afeta as propriedades físicas dos materiais obturadores e a Biodentine com 2,07 MPa com sangue e 4,01 MPa sem sangue, apresentou resultados com uma força de ligação mais forte do que o MTA, com 0,60 MPa com sangue e 1,81 MPa sem sangue <sup>12</sup>.

R.M. Walsh avaliou os efeitos do FBS comparativamente com a solução salina na fixação e na resistência à compressão de quatro cimentos obturadores: WMTA, BC-RRM, MTA Plus, Quickset. O QS teve menor resistência à compressão em comparação com os outros materiais. MTAP com gel e BC-RRM tiveram resistência à compressão maior do que WMTA e QS. WMTA e MTAP misturados com água tiveram menor resistência à compressão após a exposição ao soro fetal bovino em comparação com a solução salina <sup>17</sup>.

## **iii. Propriedades biológicas**

Em 2019, o estudo de T. VonArx avalia a biocompatibilidade e a bioatividade do BC-RRM que induz a cicatrização dos tecidos peri apicais <sup>3</sup>.

T. Ashi, em 2022, realizou um estudo para avaliar as propriedades biológicas de três tipos de cimentos de silicato de cálcio: MTA, Biodentine e Well-Root PT. Os resultados mostraram que os três cimentos eram alcalinos durante as primeiras 72 horas e que o MTA (11) e o Well-Root PT (11,25) tinham um pH significativamente maior do

que a Biodentine (9,75). Todos os cimentos apresentaram depósitos cristalinos após imersão em PBS a 37°C e também inibiram consideravelmente o crescimento bacteriano, com eficácia semelhante contra *E. faecalis*, em que cerca de 50% das bactérias após 24 horas são eliminadas<sup>18</sup>.

No estudo realizado por I. Chen, avaliou-se a adesão odontogénica e osteogénica das células, bem como a capacidade de proliferação e sobrevivência na superfície do BC-RRM e do MTA. Os resultados mostram que ambos os materiais são biocompatíveis e promovem a proliferação celular, com adesão e contacto celular formados na superfície desses materiais. Além disso, as células cultivadas na superfície do BC-RRM e MTA apresentam uma alta fosforilação da proteína quinase ativada por mitógenos / extracelular sinal regulado quinase (ERK), envolvida na sobrevivência celular<sup>23</sup>.

Em 2020, F. Zamparini aprofundou os estudos sobre alcalinização e libertação de fosfato de cálcio para melhorar as propriedades do BC-Sealer, BC-RRM Pasta e BC-RRM Putty. Todos os materiais testados apresentaram forte capacidade de alcalinização da água de imersão, com valores de pH acima de 11-12 nos primeiros 7 dias. A capacidade alcalinizante do BC-RRM-Putty foi superior a longo prazo. Todos os materiais evidenciaram ainda uma libertação imediata de cálcio, seguida de atividade a longo prazo. O BC-RRM-Paste mostrou uma libertação cumulativa mais forte de cálcio<sup>21</sup>.

O estudo prospetivo de NA. Taha realizado em 2020 com o cimento obturador TotalFill FS putty, apresentou propriedades biológicas interessantes, com uma taxa importante de cicatrização de cerca de 93% de sucesso<sup>5</sup>.

Em 2015, I. Chen, comparou a cicatrização após cirurgia apical com avaliações de biocompatibilidade e bioatividade para induzir a formação de cimento e osso, assim como a regeneração do ligamento periodontal. Os resultados foram melhores para o BC-RRM em comparação com o MTA, especialmente em relação à cicatrização<sup>20</sup>.

No estudo *in vitro* conduzido por Y. Kim em 2022, o autor comparou as características biológicas do EM Premixed, BC-RRM putty, Retro MTA e MTA. O EM Premixed e BC-RRM putty são pré-misturados, enquanto o Retro MTA tem endurecimento rápido. Foram usados testes de proliferação celular CCK-8 e cicatrização de feridas para avaliar a biocompatibilidade dos materiais, enquanto a atividade da fosfatase alcalina (ALP), coloração com Alizarina Red S (ARS) e PCR quantitativa em tempo real (qRT-PCR) foram usados para avaliar o potencial de mineralização. Os resultados revelaram que EndoSequence, EM Premixed e Retro MTA tinham

biocompatibilidade favorável e potencial de mineralização similar ao do ProRoot MTA<sup>22</sup>.

Em 2020, S. Chan no seu estudo retrospectivo evidenciou resultados de sucessos elevados nas obturações retrogradas efetuadas com o BC-RRM, 92,4%, e com o MTA, 92,1%<sup>6</sup>.

No estudo clínico *in vitro* de 2019, GW. Lee compara as propriedades químicas e de bioatividade do MTA e do BC-RRM putty. Os resultados em relação à citotoxicidade são semelhantes, mas o pH do BC-RRM é inferior em comparação com o MTA. A atividade da fosfatase alcalina e a diferenciação osteoblástica aumentam para os grupos do MTA e do BC-RRM putty em comparação com o grupo de controlo<sup>16</sup>.

Em 2016, DM. Escobar-Garcia, avaliou a citotoxicidade e a adesão celular em fibroblastos do ligamento periodontal com o uso de MTA e Biodentine. A Biodentine apresentou os melhores resultados em termos de biocompatibilidade neste estudo. Durante 5 dias, tanto a Biodentine quanto o MTA não foram citotóxicos<sup>8</sup>.

A citotoxicidade foi comparada no estudo de 2016 por S. Kucukkaya entre o MTA, o Calcium Enriched Mixture (CEM) e o Biodentine. Com o passar do tempo, os materiais agem de forma diferente, mas apresentam uma citotoxicidade semelhante após 72 horas de incubação. O Biodentine e o CEM podem representar uma alternativa fiável ao MTA<sup>9</sup>.

#### **iv. Outras propriedades**

T. VonArx, em 2020, aborda o manuseamento e a facilidade de aplicação do BC-RRM comparativamente ao MTA<sup>3</sup>.

O estudo de F. Zamparini, em 2018, avalia as propriedades tais como a radiopacidade e os tempos de presa inicial e final dos materiais pré-misturados: BC-Sealer, BC-RRM Pasta e BC-RRM Putty. O BC-RRM Putty tem os melhores resultados com 9,17 mm Al de radiopacidade, 2,0 h e 27,0 h para os tempos de presa inicial e final comparativamente com o BC-Sealer com 7,45 mm Al, 23,0 h e 52,0 h e o BC-RRM Pasta com 7,24 mm Al, 22,5 h e 51,0 h<sup>21</sup>.

G. Caron com os seus 2 casos clínicos analisa o uso da Biodentine. As propriedades biológicas da Biodentine permitem a cicatrização após 1 ano. O tempo de presa rápido entre 12 e 15 minutos e a apresentação em cápsulas apresentam vantagens. Porém, também foram observadas outras características tais como a baixa radiopacidade e o difícil manuseamento<sup>13</sup>.

J. Tanalp realizou em 2013 uma comparação de quatro materiais dos quais Biodentine, o MM-MTA, o MTA Angelus com a dentina no grupo de controlo. Os resultados mostraram que todos os materiais testados tinham uma radiopacidade significativamente maior do que a da dentina. No entanto, houve discrepâncias entre os materiais testados com a Biodentine tendo uma radiopacidade mais baixa: 2,8 +/- 0,48 mm Al, do que o MTA: 4,72 +/- 0,45mm Al ou MM-MTA: 5,98 +/- 0,51mm Al<sup>2</sup>.

## V. DISCUSSÃO

### a. Capacidade de selamento

O objetivo de uma obturação é selar o ápice para impedir que as bactérias penetrem no sistema canalicular da extremidade apical da raiz<sup>11</sup>.

#### i. Porosidade

A porosidade é um elemento importante na qualidade da estanqueidade dos materiais utilizados em endodontia<sup>11</sup>.

A porosidade dos materiais está relacionada à sua capacidade de absorção de água, à sua solubilidade, à libertação de iões e ao tempo de presa. No estudo de F. Zamparini, foi encontrada uma menor porosidade no BC-RRM-Putty, talvez devido à baixa libertação de cálcio e rápida atividade alcalinizante, bem como a um tempo de presa inicial rápido. Por outro lado, a maior porosidade do BC-Sealer está relacionada à alta absorção de água, alta libertação de cálcio, alta solubilidade e tempo de presa inicial prolongado. É importante destacar que a solubilidade *in vivo* dos materiais CaSi é menor do que *in vitro* devido à presença de proteínas séricas e à nucleação da apatita, e que a porosidade aberta, absorção de água e solubilidade são significativamente inferiores do que outros materiais à base de CaSi testados no mesmo laboratório com a mesma metodologia. Nenhum estudo prévio de porosidade tinha sido publicado anteriormente sobre o BC-RRM-Paste ou o BC-Sealer, e apenas um estudo tinha avaliado a porosidade aparente do BC-RRM-Putty por um método diferente (saturação de gás), mostrando valores mais baixos<sup>21</sup>.

No estudo de C. Toia, os materiais testados, como o EndoSequence BC Putty, ProRoot MTA e Biodentine, mostram porosidade e maculos, mas o impacto na qualidade da estanqueidade não é evidente. A porosidade foi considerada adequada para a prática

da cirurgia apical, com 50,45% para a Biodentine, 51,94% para o ProRoot MTA e 56,73% para o EndoSequence BC Putty, sendo a porosidade mais alta deste ensaio clínico. Este estudo não provou uma ligação entre o método de mistura, manual ou mecânico, dos cimentos biocerâmicos <sup>11</sup>.

Na pesquisa de T. Ashi, foi usado o teste do ângulo de contacto para determinar a capacidade de absorção de gotas de 5 µL de água destilada. Este teste é um indicador do comportamento de humedecimento de um material sólido, neste caso, o cimento, por um líquido, por sua vez, a água. A medição do ângulo de contacto é influenciada pela rugosidade da superfície e pela composição química. A superfície do Well-Root PT era menos rugosa do que a do MTA Biorep e Biodentine, o que pode estar relacionado com o tamanho das partículas de cada cimento. Após 10 segundos, a gota de 5 µL foi completamente absorvida pela superfície do MTA Biorep, e apresentava valores de rugosidade mais altos em comparação com o Biodentine e o Well-Root PT. Independentemente do modelo de humedecimento considerado (Wenzel ou Cassie-Baxter), uma superfície mais rugosa e hidrofílica aumentaria a aderência, a absorção de proteínas e a fixação celular, oferecendo uma maior biocompatibilidade. No entanto, uma diminuição da proliferação e do crescimento celular pode estar relacionada a uma relação de rugosidade crítica, onde a energia elástica da célula impede a inserção das células nas ranhuras da superfície as quais se fixam apenas nas pontas das superfícies rugosas, permitindo apenas uma interação pontual célula-superfície <sup>18</sup>.

## **ii. Adaptação marginal**

A adaptação marginal dos materiais no canal radicular é necessária para o sucesso da cirurgia periapical, devido à importância da obturação apical <sup>7</sup>.

Estudos como o de N. Shokouhinejad mostraram que a interação do MTA com uma solução contendo fosfato, como o PBS, resultou na formação de cristais de apatita. Esse fenómeno foi proposto como mecanismo de redução das fugas. Embora a precipitação de apatita comece nas primeiras horas de imersão no PBS, a agregação de maiores quantidades de cristais e a formação de uma interface dentina-material foram sentidos a longo prazo. Este estudo não levantou diferenças entre o MTA e os cimentos EndoSequence Putty e Pasta, com resultados semelhantes em termos de obturação,

biocompatibilidade e atividade biológica. Portanto, este estudo sugere que a adaptação marginal do EndoSequence Putty e Pasta é comparável à do MTA <sup>15</sup>.

No contexto da cirurgia endodôntica, a ressecção radicular é realizada sendo considerada apropriada quando, pelo menos 3 mm da extremidade da raiz são removidos para reduzir ramificações apicais e canais laterais que podem ser responsáveis pelo insucesso endodôntico. A ressecção perpendicular minimiza o número de túbulos dentinários expostos. As pontas ultrassônicas diamantadas são mais indicadas para preparar uma cavidade retrógrada coaxial de 3 mm. A Biodentine é um material à base de silicato tricálcico e apresenta uma boa adaptação marginal. A adaptação marginal foi avaliada em níveis de 1 mm e 2 mm, sendo o MTA superior ao IRM e a Biodentine <sup>14</sup>.

O estudo desenvolvido por de B. Bolhari avalia a adaptação marginal do MTA, do Calcium Enriched Mixture, da Biodentine e do BioAggregate. A presença de sangue não causou efeito significativo na adaptação marginal desses materiais <sup>7</sup>.

### **iii. Estanqueidade**

A presença de micro-organismos está frequentemente associada a doenças pulpo-apicais. O tratamento endodôntico visa, portanto, eliminar esses micro-organismos e garantir um fecho hermético do terço apical do dente <sup>10</sup>.

Têm vindo a ser estudados diferentes técnicas e materiais de forma a obter uma barreira apical eficaz da mesma forma que diversos métodos foram utilizados para avaliar a microinfiltração apical. A penetração de corantes é frequentemente utilizada para estudar a microinfiltração, pois os corantes são relativamente fáceis de armazenar, aplicar e quantificar. O corante de rodamina B tem sido o mais utilizado para microscopia confocal devido à sua fluorescência. No estudo de DD. Sarasathi, todos os materiais apresentaram microinfiltração, mas o MTA Plus revelou menos infiltração do que a Biodentine e o MTA. Os valores médios de microinfiltração da Biodentine e do MTA foram semelhantes, mas o MTA mostrou uma melhor vedação marginal devido às suas propriedades hidrofílicas e à formação de uma camada interfacial entre o material e a dentina <sup>10</sup>.

Foi na pesquisa realizada por B. Rencher que foi estimada a capacidade de vedação com duas formulações diferentes do EndoSequence Bioceramic Root Repair Material, Pasta e Putty, em comparação com a eficácia do MTA. Avaliou-se a vedação

usando a bactéria *E. faecalis*, frequentemente associada a doenças pós-tratamento. Não se registaram diferenças estatisticamente significativas entre esses 3 materiais, mas isso pode variar de acordo com a situação clínica devido à presença de sangue e fluidos teciduais durante a aplicação do material, presença de diferentes espécies bacterianas no canal, presença de lesões periapicais e variações anatómicas <sup>4</sup>.

CC. Toia avaliou o ProRoot MTA (um material de mistura manual), a Biodentine (um material de mistura mecânica) e o EndoSequence BC Putty (um material condensável). Para se obter uma vedação apical ideal, devem ser evitados espaços vazios e lacunas. O uso de Micro-CT para determinar a vedação permite determinar as similitudes entre o BC-RRM e o Biodentine com o MTA, considerado o *gold standard* para cirurgia apical, com resultados considerados vedados. De fato, a expansão do volume inicial do cimento biocerâmico pode ajudar a obter uma vedação com aumento da estanqueidade. Os cimentos biocerâmicos são silicatos de cálcio com capacidade de expansão entre 0,2% e 6% do volume inicial <sup>11</sup>.

O estudo avalia a eficácia da vedação de dois materiais, o MTA e o EndoSequence Bioceramic Root Repair Material FastSet Putty (BC-RRM FastSet Putty). Os resultados mostram que o BC-RRM FastSet Putty apresenta resultados satisfatórios, com 28% dos espécimes a apresentarem crescimento bacteriano, estatisticamente semelhante ao grupo MTA com 50%. <sup>19</sup>.

## **b. Propriedades físicas**

### **i. Força de ligação**

A força de ligação refere-se à capacidade dos cimentos biocerâmicos aderirem às superfícies dentárias por retenção micromecânica e manterem sua integridade estrutural para evitar a reinfecção dos canais radiculares. Uma resistência elevada é fundamental para assegurar a resistência à luxação dos materiais de obturação.

No estudo de Akcay et al., a comparação foi efetuada na presença e na ausência de sangue. O MTA foi escolhido como controlo, pois é composto de óxido de cálcio e silício, que permitem a fixação mesmo em ambientes húmidos por meio de partículas hidrofílicas. Tanto para o MTA como para a Biodentine, a contaminação sanguínea teve um impacto negativo na força de ligação, provavelmente devido ao facto de impedir a hidratação total e a presa completa do cimento. No entanto, os resultados da Biodentine em caso de contaminação sanguínea são semelhantes aos do MTA sem sangue. Por

consequente, a Biodentine obteve assim melhores resultados, com maior força de ligação, principalmente devido à sua composição, cloreto de cálcio, que atua como um polímero hidrossolúvel para acelerar a presa do cimento, e conseqüentemente, o tempo de contacto. A Biodentine possui assim uma capacidade de biomineralização mais elevada, o que permite uma força de ligação mais alta <sup>12</sup>.

A resistência à compressão é medida através de um método de teste chamado "*push-out*" para avaliar a resistência à deslocação de um material intracanal que mede a força de ligação ou resistência à dentina do canal radicular. Essa compressão é exercida de forma uniforme e uniaxial entre o material obturador da extremidade radicular e a dentina do canal radicular. O estudo de J. Mason, demonstrou que a resistência à deslocação/cisalhamento dos materiais de reparo da extremidade da raiz ProRoot MTA e Biodentine era semelhante e que esses materiais tinham uma resistência superior à dos materiais EndoSequence (BC-RRM, Fast Set Putty e BC Sealer). Os materiais biocerâmicos adaptam-se à dentina do canal radicular devido à expansão líquida de presa de 0,6% a 6%, o que facilita a retenção do material da extremidade radicular e melhora a resistência ao "*push-out*". No entanto, essa expansão também pode causar tensões residuais e ruptura coesiva. A observação microscópica, bem como as imagens 3D, estabeleceram que todos os materiais sofreram uma falha coesiva no interior do material, o que significa que as forças interfaciais entre o material e a parede do canal dentário não foram superadas. É necessário considerar as diferenças nos estudos entre a resistência de ligação interfacial e a resistência à deslocação. Este estudo é controverso devido à variabilidade dos fatores que foram medidos e à imprevisibilidade do desempenho clínico dos materiais <sup>1</sup>.

## **ii. Solubilização e estabilidade física**

O grau de solubilidade é uma característica importante que determina a formação de lacunas ou espaços maculos. Uma maior solubilidade estará correlacionada com uma maior probabilidade de reinfecção por micro-organismos através do sistema de canais radiculares. No estudo de T. Ashi, a solubilidade da Biodentine, do MTA Biorep e do Well-Root PT foi inferior a 3% em massa após 24 horas em água destilada. A Biodentine apresenta uma solubilidade mais elevada, porém sem correlação, assim como um pH mais elevado <sup>18</sup>.

### **iii. Microdureza**

A microdureza na cirurgia apical refere-se à medição da dureza dos tecidos dentários numa escala microscópica a qual permite prever a durabilidade dos tecidos ósseos, bem como sua resistência às tensões mecânicas.

Este estudo realizado por R. Walsh em 2014 é o primeiro a avaliar a resistência à compressão de novos cimentos silicatos hidráulicos na presença de soro e soro fisiológico. Os resultados confirmam que o ProRoot MTA e materiais relacionados têm uma resistência à compressão reduzida na presença de sangue e seus componentes, e que o ProRoot MTA é significativamente afetado pela exposição a soro fetal bovino (FBS). No entanto, os materiais misturados com gel têm uma resistência à compressão mais consistente, sugerindo que o gel fornece proteção superficial contra defeitos induzidos pelo soro. A resistência à compressão do BC-RRM e do MTA Plus misturados com gel não é afetada negativamente pela exposição ao FBS, tornando-os potenciais substitutos para o ProRoot MTA <sup>17</sup>.

### **c. Propriedades biológicas**

#### **i. Biocompatibilidade e citotoxicidade**

A biocompatibilidade e a citotoxicidade são critérios importantes para avaliar a segurança dos materiais utilizados em endodontia. A biocompatibilidade refere-se à capacidade de um material ser utilizado no corpo humano sem causar danos ou reações adversas. Para ser biocompatível, um material deve ser não tóxico, não imunogénico e não trombogénico. Além disso, deve resistir à degradação e corrosão no ambiente biológico e não provocar reações inflamatórias <sup>2,6</sup>.

Os estudos de GW. Lee e de T. VonArx, assim como estudos anteriores, demonstraram que o material de obturação retrógrada BC-RRM é tão biocompatível quanto o MTA, com ausência de resposta inflamatória geral <sup>3,6,16</sup>.

I. Chen explica que a adesão de células à superfície dos materiais é um bom indicador de biocompatibilidade. Além disso, se o material estimula a proliferação ou sobrevivência das células, é provável que ele favoreça o processo de cicatrização. Portanto, compreender o comportamento celular desses materiais pode fornecer informações valiosas sobre a eficácia clínica do mesmo. Foram testados 3 tipos de *stem*

*cells* humanas com relevância clínica para a endodontia. Efetivamente, essas células têm potencial para se diferenciar em osteoblastos (HBMSCs), cementoblastos/osteoblastos (PDLSCs) e odontoblastos (DPSCs), importantes na cicatrização e regeneração de tecidos mineralizados. A primeira parte do estudo mostrou as morfologias celulares e características de superfície do material. Foi comprovado que a topografia influencia os comportamentos celulares, incluindo adesão, morfologia, migração e diferenciação. Isso pode ser causado pela adsorção de proteínas, sendo este um passo crítico para a aderência celular. Os resultados mostraram que as superfícies granulares do Endosequence Root Repair Material (BC-RRM) e do ProRoot MTA permitem que as células adiram e cresçam com extensões celulares que interagem com os materiais. Esses resultados indicam que o BC-RRM e o ProRoot MTA fornecem ambientes favoráveis às células. Além disso, um efeito mitogénico associado aos dois materiais também foi observado neste estudo. É provável que a forma granular dos materiais favoreça a adesão celular. Portanto, a adesão celular e os processos biológicos subsequentes são facilitados por esse estímulo ambiental. Sabe-se também que a forma celular pode regular os processos biológicos, incluindo o controlo do crescimento e estabelecimento da linhagem. Assim, as semelhanças entre as atividades biológicas do ProRoot MTA e do BC-RRM podem ser em parte devidas a características de superfície semelhantes <sup>23</sup>.

A biocompatibilidade e a capacidade de selamento do MTA têm sido amplamente estudadas e mostraram-se excepcionais. No entanto, a citotoxicidade do Endosequence Root Repair Material (BC-RRM) só foi estudada em estudos *in vitro* e os resultados são contraditórios. O estudo de I. Chen mostrou uma reação inflamatória mínima ou nula nas proximidades dos dois materiais, e a cicatrização ocorreu em todos os sítios operatórios. Esses resultados sugerem que o BC-RRM é comparável ao MTA em termos de biocompatibilidade e capacidade de selamento. Nenhuma diferença significativa nos parâmetros de cicatrização foi encontrada ao comparar canais radiculares infetados e desinfetados <sup>20</sup>.

Os resultados do estudo de Y. Kim mostraram que o Endocem MTA Premixed, o Endosequence BC RRM Putty, o RetroMTA e o ProRoot MTA têm biocompatibilidade e potencial de mineralização favoráveis. Testes de proliferação celular mostraram que o Endocem MTA Premixed teve uma proliferação celular mais elevada nos dias 2 e 4, enquanto o ProRoot MTA teve uma proliferação mais alta no dia 6. O BC-RRM Putty

mostrou resultados biológicos semelhantes aos do ProRoot MTA, mas com menor viabilidade celular no dia 6. Ambos os materiais apresentaram alta coloração de Alizarin Red-S (ARS), sugerindo potencial de mineralização favorável. O BC-RRM Putty também mostrou libertação mais alta de cálcio e precipitação de fosfato de cálcio na sua superfície, o que pode ser benéfico para melhorar o selamento de materiais à base de silicato de cálcio <sup>22</sup>.

Esta investigação de D.M. Escobar-Garcia centra-se no MTA e no Biodentine. A citotoxicidade é avaliada em termos de viabilidade celular através de um teste chamado MTS, que mede a quantidade de células viáveis. Os resultados obtidos mostram que as células permanecem viáveis durante todos os períodos de avaliação e não há diferença estatística significativa entre os dois materiais. Ambos os materiais mostraram ser não citotóxicos e não apresentaram diferença significativa em termos de viabilidade em 24 e 48 horas. O estudo também avaliou a adesão celular e a formação de contactos focais usando a imunocitoquímica para detetar moléculas de adesão. Os resultados mostram que os fibroblastos do ligamento periodontal aderem melhor ao Biodentine do que ao MTA, sugerindo que os materiais avaliados *in vitro* são biocompatíveis <sup>8</sup>.

No estudo de S. Kuçukkaya, a citotoxicidade *in vitro* é estudada para perceber como os materiais usados na medicina dentária afetam a viabilidade dos fibroblastos do ligamento periodontal (PDL). Os testes de citotoxicidade devem levar em consideração vários aspetos, como o tipo de célula usado, o número de passagens, o tipo de análise e o método de contacto celular. Neste estudo, foram usados fibroblastos humanos PDL de quarta passagem, pois apresentam o mínimo de mudanças devido à manipulação em cultura celular. O teste de viabilidade celular foi medido com o ensaio WST-1, pois não requer a adição de detergentes para a leitura e pode ser repetido várias vezes nas mesmas células. O teste foi realizado usando placas de cultivo com pontas para garantir um contacto adequado entre as células e os materiais. MTA, Calcium Enriched Mixture (CEM) e Biodentine foram testados quanto à sua citotoxicidade *in vitro*. Os resultados mostraram uma diminuição da viabilidade celular para o MTA e CEM após 72 horas de incubação, enquanto o Biodentine mostrou uma diminuição da viabilidade celular após 24 horas. A produção de hidróxido de cálcio devido à reação de hidratação nos materiais pode explicar a diminuição da viabilidade celular para MTA, CEM e Biodentine. Foram manifestadas preocupações quanto à pureza dos materiais devido à presença de metais

pesados como arsênio, cromo e chumbo. O mesmo se aplica ao MTA e Biodentine que foram testados, verificando-se que contêm arsênio, cromo e chumbo nos extratos dos materiais, mas os resultados mostraram que a fase aluminato não está presente no Biodentine. Os radiopacificadores contidos nos materiais também podem ser uma preocupação importante, pois foram observados em níveis elevados nos tecidos adjacentes ao material. Os resultados deste estudo mostraram que todos os materiais testados têm um efeito citotóxico pelo que, devem ser tomadas as devidas precauções ao utilizá-los<sup>9</sup>.

## **ii. Bioatividade e reação química**

A pesquisa de I. Chen aborda a utilização de biomateriais em endodontia que entram em contato direto com os tecidos pulpare e periodontais. Os investigadores utilizaram três tipos de *stem cells* humanas com relevância clínica: mesenquimatosas humanas, do ligamento periodontal e da polpa dentária. Essas células têm a capacidade de se diferenciar em osteoblastos, cementoblastos/osteoblastos e odontoblastos, respetivamente. Assim, essas células são, por conseguinte, importantes para a cicatrização e regeneração dos tecidos mineralizados. Se o material estimular a proliferação e/ou diferenciação desses tipos celulares desejados, pode melhorar a cicatrização.

As morfologias celulares e as características de superfície do material comprovaram a sua influência nos comportamentos celulares, incluindo adesão, morfologia, migração e diferenciação, o que pode ser causado pela absorção de proteínas, que é um passo crítico para a adesão celular. Os resultados mostraram que o ProRoot MTA e o EndoSequence Root Repair Material (BC-RRM) apresentaram superfícies granulares às quais as células aderiram bem e cresceram, com prolongamentos celulares interagindo com os materiais, mostrando que eles fornecem ambientes favoráveis às células. Além disso, um efeito mitogénico associado a ambos os materiais também foi observado neste estudo e avaliado usando o teste MTT (*3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl tetrazolium bromide estudo*). Os resultados revelaram que ambos os materiais são mitogénicos, com efeitos diferentes dependendo dos tipos de células. As *stem cells* do ligamento periodontal e da polpa dentária responderam rapidamente ao ProRoot MTA e ao BC-RRM, revelou um aumento significativo no número de células evidente no terceiro dia. Em contraste, as *stem cells* mesenquimais humanas foram mais lentas a responder, aumentando consideravelmente de células apenas no quinto dia. Os

investigadores estudaram ainda a resistência das células à privação de soro e descobriram que as células cultivadas no ProRoot MTA e no BC-RRM eram igualmente bem resistentes à morte celular induzida pela privação de soro. Por fim, os mesmos estudaram quinase regulada pelo sinal extracelular (ERK), envolvida na proliferação e sobrevivência celular. Os resultados mostraram que a fosforilação da ERK foi regulada positivamente pelo ProRoot MTA e pelo BC-RRM. Além disso, a inibição da ERK reduziu parcialmente o crescimento celular, levando ao aparecimento de outras vias de sinalização mitogênicas<sup>23</sup>.

O BC-RRM apresenta um potencial osteogênico com a capacidade de melhorar a diferenciação osteoblástica para promover a cicatrização dos tecidos periapicais. Seis meses após a cirurgia apical, observou-se a cobertura do BC-RRM com um tecido já remineralizado com cimento e o ligamento periodontal, o que significa uma resposta inflamatória mínima ou ausente nos tecidos adjacentes da raiz tratada durante a cirurgia apical<sup>3</sup>.

Nesta pesquisa *in vitro* de T. Ashi, foram comparados três materiais de reparação endodôntica: cimento biocerâmico pré-misturado (WellRoot PT), cimento de silicato de cálcio em pó e líquido (MTA Biorep) e cimento de silicato de cálcio modificado com bismuto em pó e líquido (Biodentine). A biomineralização é a reação química que ocorre com a formação de cristais de diferentes formas: cristais cúbicos para a Biodentine e o MTA, cristais alongados para o Well-Root PT. O objetivo dessa biomineralização é que os microrganismos entrem nos túbulos dentinários. Cada cimento possui composições químicas diferentes, mas na superfície de todos os silicatos de cálcio detetamos Ca, Si e P. O Well-Root é composto por óxido de zircônio e o MTA por aluminato tricálcico<sup>18</sup>.

Esta pesquisa aborda a caracterização microquímica da superfície, a capacidade de enucleação de CaP e a seleção de propriedades físico-químicas de novos materiais endodônticos à base de silicato de cálcio com fosfato de cálcio monobásico CaH<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. As análises ESEM-EDX (*environmental scanning electron microscopy-elemental dispersive X-ray*) e espectroscopia via micro-Raman da composição mostraram a presença de silicatos de cálcio (alita triclínica e β-belita), fosfato de cálcio monobásico, zircônia monoclínica e pentóxido de tântalo na BC-RRM-Paste e BC-RRM-Putty, em concordância com a declaração do fabricante. Com base na tendência da razão de

intensidade Raman I823(alita)/I480(zircônia), pode-se afirmar que a alita aumentou ao longo da série BC-Sealer (I823(alita)/I480(zircônia) =  $0,31 \pm 0,01$ ) < BC-RRM (I823(alita)/I480(zircônia) =  $1,01 \pm 0,01$ ) < BC-RRM-Putty (I823(alita)/I480(zircônia) =  $1,26 \pm 0,09$ ), em concordância com os dados de ESEM-EDX. Análises espectroscópicas de micro-Raman mostraram maiores quantidades de anidrita em BC-RRM-Putty e BC-RRM-Paste do que em BC-Sealer. Por outro lado, análises de ESEM-EDX revelaram a presença de enxofre (0,4 a 0,7% em peso) apenas nos dois primeiros materiais. O sulfato de cálcio e Ca(OH)<sub>2</sub> são reguladores de endurecimento. Outras análises de ESEM-EDX mostraram traços de enxofre em BC-RRM-Putty fresco, mas não em BC-Sealer fresco <sup>21</sup>.

O estudo demonstrou-se ainda a formação de tecido mineralizado semelhante a cimento na superfície do material de reparação de raiz EndoSequence Root Repair Material (BC-RRM), que é um aspecto importante na regeneração do dente danificado. O tecido mineralizado estava em continuidade com o cimento na superfície lateral da raiz, sugerindo que o tecido recém-formado é provavelmente cimento regenerado. O estudo salientou ainda que a cirurgia da extremidade das raízes levou à formação de tecido fibroso denso adjacente à superfície da raiz ressecada, que estava em continuidade com o ligamento periodontal na superfície lateral da raiz. É provável que esse tecido se possa tornar num ligamento periodontal funcional, sugerindo a restauração do tecido original. Este estudo aponta a bioatividade e as reações químicas da pasta de cimento de reparação de raiz (BC-RRM) na cura dos tecidos periapicais. As raízes preenchidas com o BC-RRM foram testadas *in vivo* e comparadas com a capacidade do MTA de selar os canais radiculares e promover a cura. O estudo revelou uma cura mínima ou nula e uma reação inflamatória adjacente para ambos os materiais. Além disso, uma nova formação de tecido tipo cimento foi observada na superfície do BC-RRM, do MTA, assim como na superfície da dentina seccionada <sup>20</sup>.

No que diz respeito ao potencial de mineralização, foi observado que os vários materiais apresentaram expressões diferentes de genes que regulam a diferenciação e proliferação de células ósseas. O EM Premixed apresentou uma proliferação celular mais alta nos dias 2 e 4, enquanto o ProRoot MTA apresentou uma proliferação mais alta no dia 6. Ambos os materiais revelam uma coloração ARS elevada, sugerindo um potencial favorável de mineralização. Além disso, o BC-RRM mostrou uma libertação mais alta de

cálcio e precipitação de fosfato de cálcio na sua superfície, o que poderá ser benéfico para melhorar o selamento de materiais à base de silicato de cálcio <sup>22</sup>.

A bioatividade e a reação química são critérios importantes a ter em conta ao usar materiais em endodontia. O EndoSequence Root Repair Material (BC-RRM) tem um tamanho de partícula maior do que o MTA, mas é capaz de penetrar nos túbulos dentinários e se ligar mecanicamente à dentina. Além disso, o BC-RRM tem um pH elevado, que neutraliza o ácido láctico e ativa as fosfatases alcalinas que desempenham um papel importante na formação de tecidos duros. Essas propriedades podem favorecer a formação de tecidos duros ao usar o BC-RRM como material de preenchimento retrógrado <sup>16</sup>.

### **iii. Ação antibacteriana**

É também um critério importante no uso de materiais em endodontia, a atividade antibacteriana. Materiais antibacterianos podem ajudar a eliminar as bactérias nos canais radiculares. O EndoSequence Root Repair Material (BC-RRM) tem um pH elevado, é hidrofílico e apresenta difusão ativa de hidróxido de cálcio, o que pode favorecer a atividade antibacteriana. Embora os testes de atividade antibacteriana não tenham sido medidos no estudo de GW. Lee, o BC-RRM pode ter atividade antibacteriana devido ao seu pH elevado <sup>16</sup>.

No estudo de T. Ashi, o mesmo usou um teste de contacto direto para avaliar a atividade antibacteriana dos diferentes cimentos. O *E. faecalis*, um microrganismo anaeróbico facultativo Gram +, foi usado na experiência, uma vez que esta bactéria é a mais comum em infecções e falhas no tratamento do canal radicular. O MTA Biorep, a Biodentine e o Well-Root PT todos demonstraram um elevado potencial de eliminação das bactérias após 24 horas, reduzindo cerca de 50% das bactérias em comparação com o grupo de controlo. A atividade antibacteriana desses cimentos deve-se principalmente ao seu elevado pH <sup>18</sup>.

Por fim, no estudo de I. Chen foi comparado a capacidade de cicatrização de raízes preenchidas com o EndoSequence Root Repair Material (BC-RRM) e o MTA, usando métodos histológicos e radiográficos. Os resultados mostraram que o BC-RRM apresentou cicatrização significativamente superior na superfície da raiz cortada e na

região periapical, mas não na regeneração da placa cortical. Diferenças subtis, como a reorganização do PDL, do cimento e da qualidade óssea nem sempre podem ser observadas em radiografias periapicais, sugerindo que métodos de imagem em 3D, como a tomografia de feixe cônico (CBCT), possam ser mais eficazes na avaliação das diferenças entre os materiais de preenchimento da extremidade das raízes<sup>20</sup>.

Os resultados do estudo de S. Kuçukkaya mostraram disparidades ao longo do tempo em termos de viabilidade celular entre o MTA, a Mistura Enriquecida com Cálcio (CEM) e a Biodentine. Com efeito, o MTA e a CEM mostraram uma diminuição estatisticamente significativa da viabilidade celular após 72 horas de incubação, enquanto a Biodentine mostrou menos viabilidade celular logo nas 24 horas de incubação em comparação com os outros períodos de tempo. A produção de hidróxido de cálcio devido à reação de hidratação dos materiais pode explicar a diminuição da viabilidade celular para o MTA, a CEM e a Biodentine<sup>9</sup>.

#### **d. Outros fatores**

##### **i. Tempo de presa**

O tempo de presa dos materiais obturação é uma característica importante, especialmente no caso da cirurgia endodôntica. Um tempo de presa prolongado pode resultar em perda parcial do material e alteração da interface durante as fases de acabamento do procedimento<sup>13</sup>.

Fatores como a presença de ápices húmidos ou largos, a humidade ambiente e o sangue podem afetar negativamente o tempo de presa<sup>21</sup>.

O Biodentine tem uma vantagem sobre outros cimentos à base de silicato de cálcio devido ao seu tempo de presa rápido de 12 e 15 minutos. Em comparação ao MTA, que tem um tempo de presa até 170 minutos. A sua apresentação é em cápsulas, com um pó composto principalmente por silicato tricálcio, carbonato de cálcio e óxido de zircónio, ao passo que o líquido contém cloreto de cálcio como acelerador de presa e agente redutor de água, permite obter uma rápida presa. A mistura é realizada com a ajuda de um dispositivo de mistura de cápsulas e a proporção pó/líquido é determinada pelo fabricante para garantir a máxima reprodutibilidade em cada uso<sup>13</sup>.

Além da Biodentine, o BC-RRM Putty é o material que apresenta o melhor tempo de presa inicial e final (2h, 27h), mas encontramos outros materiais com resultados

satisfatórios, como o BC-Sealer e o BC-RRM Pasta, que possuem tempos de presa inicial e final semelhantes (23h, 52h) <sup>21</sup>.

## **ii. Manuseamento**

O manuseamento é uma propriedade importante e necessária na aplicação de materiais na obturação retrógrada de uma cavidade para obter o melhor selamento apical. É importante evitar lacunas e espaços ao longo das interfaces dentina-material, pois isso pode comprometer o resultado final <sup>11</sup>.

Podemos distinguir duas categorias de cimentos biocerâmicos: os materiais misturados manualmente, com o MTA, e os misturados mecanicamente, incluindo a Biodentine, os EndoSequence Pasta e Putty. Este último é considerado pronto a usar e foi desenvolvido para evitar consistências heterogêneas durante a mistura no local, sendo mais coesivo e eficaz <sup>11</sup>.

No entanto, nos materiais misturados mecanicamente, ainda podemos encontrar diferentes nuances. A Biodentine, apresentada em forma de cápsula, tem o inconveniente de ter uma manipulação difícil, apesar do que o fabricante alega. É, sem dúvida, impossível criar pequenos cones que seriam fáceis de inserir na cavidade retro-preparada, como os cimentos de ZOE ou Super EBA. O uso do bloco de Lee ou de um sistema específico como o sistema MAP facilita o procedimento <sup>13</sup>.

Do ponto de vista clínico, o material BC-RRM é mais fácil de manipular e aplicar do que o MTA. Como o material em pasta é pré-misturado, ele tem sempre a mesma consistência, pronto para ser colocado na cavidade da extremidade da raiz e é menos propenso a ser eliminado quando se limpa o local da cirurgia antes do fecho da ferida <sup>3</sup>.

No entanto, a baixa viscosidade do BC-RRM Pasta torna impossível a compressão na cavidade da extremidade radicular e reduz a formação de possíveis espaços vazios <sup>15</sup>.

Por outro lado, uma substância pré-misturada de presa rápida, TotalFill FS putty, é mais fácil de manusear e moldar do que a pasta comum. É aplicada a partir de uma seringa e tem um tempo de trabalho adequado <sup>5</sup>.

### **iii. Radiopacidade**

A radiopacidade dos materiais utilizados em endodontia é uma característica importante dos materiais de obturação do canal radicular, ortógrafa ou retrógrada. De facto, essa radiopacidade é a capacidade de um material aparecer nitidamente numa radiografia dentária para permitir um diagnóstico preciso e garantir que o tratamento tenha sido realizado corretamente <sup>2</sup>. Além disso, o risco de deixar material dentro da cavidade óssea aumenta na presença de um material pouco radiopaco, o que não permitirá uma visualização correta durante a radiografia <sup>13</sup>.

Existem diversos fatores que podem influenciar a radiopacidade dos materiais, como a relação pó/líquido e aditivos como o óxido de bismuto ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) no MTA e o óxido de zircónio ( $\text{ZrO}_2$ ) na Biodentine.<sup>2</sup> A utilização da Biodentine apresenta vários inconvenientes, incluindo a baixa radiopacidade. Apesar da presença do óxido de zircónio ( $\text{ZrO}_2$ ), que é um opacificante aos raios-X, a radiopacidade da Biodentine é inferior à do MTA <sup>13</sup>.

Embora a Biodentine tenha uma radiopacidade mais baixa (2,80) do que o MM-MTA (5,18) e o MTA (4,72), a Biodentine é considerada um substituto dentário prático, eficaz e bem tolerado. No entanto, uma radiopacidade mais alta pode ser desejável para facilitar uma aplicação correta durante o procedimento de obturação retrógrado <sup>2</sup>.

O TotalFill BC-Sealer (7,45), bem como os BC-RRM Pasta (7,24) e Putty (9,17), são materiais obturadores que apresentam valores elevados de radiopacidade, especialmente o BC-RRM-Putty, que é estatisticamente diferente dos outros dois materiais em termos de radiopacidade. A presença de Tântalo (2-3 wt%) é responsável pela alta radiopacidade do BC-RRM-Pasta e BC-RRM-Putty, apesar da metade da presença de Zircónio (10-15 wt%) em comparação com o BC-Sealer <sup>21</sup>.

### **iv. Descoloração**

O óxido de bismuto ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) está presente nas composições do ProRoot MTA e o MTA Plus. É efetivamente utilizado como radiopacificador, mas é responsável por descolorações, incluindo efeitos de “acinzentado”. Este efeito deve-se ao facto do óxido de bismuto ter diferentes estados de oxidação, dependendo das interações com os tecidos circundantes. Para remediar a essas descolorações, compostos como óxido de tântalo ( $\text{TaO}$ ) e óxido de zircónio ( $\text{ZrO}_2$ ) foram escolhidos como alternativas na composição do Endosequence Root Repair Material com uma cor mais estável <sup>17</sup>.

## VI. CONCLUSÕES

Durante esta revisão sistemática integrativa da literatura, os novos cimentos biocerâmicos utilizados na obturação retrógrada na microcirurgia endodôntica foram avaliados com base nos dados disponíveis até o momento. Assim, podemos confirmar positivamente várias das hipóteses de trabalho.

- De fato, entre os principais novos cimentos biocerâmicos que foram abordados neste estudo, podemos concluir que a Biodentine, o BC-RRM (EndoSequence ou TotalFill) Pasta, Putty e BC-Sealer, bem como o BioAggregate, apresentaram desempenhos semelhantes ou até superiores ao MTA em termos de capacidade de selamento, propriedades físicas e propriedades biológicas.
- Além disso, o BC-RRM superou o MTA em termos de radiopacidade, sem apresentar descoloração. Os formatos Putty (EndoSequence e TotalFill) têm melhor desempenho na cirurgia apical, como a possibilidade de aplicação incremental para melhorar a qualidade do preenchimento.

## VII. LIMITAÇÕES

No entanto, é importante interpretar esses resultados com cautela.

De fato, neste estudo, baseamo-nos em diferentes estudos realizados ao longo de um período de 10 anos, e podemos supor que alguns dos resultados já estejam obsoletos hoje em dia. É importante destacar que existem diferentes graus de confiabilidade entre os testes realizados durante os estudos, e até o momento não há um único estudo que reúna todos os cimentos biocerâmicos do mercado, comparando todas as características necessárias para um material de obturação retrógrada ideal. Além disso, existe uma diferença real entre estudos *in vitro*, condições *in vivo* e a prática de cada médico dentista no dia-a-dia.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Mason J, Kirkpatrick T, Roberts HW. Dislodgement pushout resistance of five bioceramic root- end filling materials. *Dent Mater J.* 2022 Nov 30;41(6):843-849.
- 2) Tanalp J, Karapinar-Kazandag M, Dölekoglu S, Kayahan MB. Comparison of the radiopacities of different root-end filling and Repair materials. *ScientificWorldJournal* 2013;e594950.
- 3) Von Arx T, Janner SFM, Haenni S, Bornstein MM. Bioceramic root repair material (BCRRM) for root-end obturation in apical surgery. An analysis of 174 teeth after 1 year. *Swiss Dent J.* 2020 May 11;130(5):390-396.
- 4) Rencher B, Chang AM, Fong H, Johnson JD, Paranjpe A. Comparison of the sealing ability of various bioceramic materials for endodontic surgery. *Restor Dent Endod.* 2021 Jun 8;46(3):e35.
- 5) Taha NA, Aboyounes FB, Tamimi ZZ. Root-end microsurgery using a premixed tricalcium silicate putty as root-end filling material: a prospective study. *Clin Oral Investig.* 2021 Jan;25(1):311-317.
- 6) Chan S, Glickman GN, Woodmansey KF, He J. Retrospective Analysis of Root-end Microsurgery Outcomes in a Postgraduate Program in Endodontics Using Calcium Silicate-based Cements as Root-end Filling Materials. *J Endod.* 2020 Mar;46(3):345-351
- 7) Bolhari, B., Yazdi, K.A., Sharifi, F., Pirmoazen, S., 2014. Comparative scanning electron microscopic study of the marginal adaptation of four root-end filling materials in presence and absence of blood. *J. Dentistry (Tehran, Iran)* 12 (3), 226.
- 8) Escobar-García, D.M., Aguirre-Lopez, E., Mendez-Gonzalez, V., Pozos-Guillen, A., 2016. Cytotoxicity and Initial Biocompatibility of Endodontic Biomaterials (MTA and Biodentine™) Used as Root- End Filling Materials. *BioMed Res. Int.*, 1–7.
- 9) Küçükkaya S., Görduysus M.O., Zeybek, N.D., Müftüoğlu S.F., 2016. In vitro cytotoxicity of calcium silicate-based endodontic cement as root-end filling materials. *Scientifica* 2016, 1–5.
- 10) Saraswathi, D.D., Tejavath, S.K., Babu, M.R., Swetha, B., Gandhi, B., 2015. A comparative evaluation of sealing ability of three recent root-end filling materials: an in vitro study. *J. Adv. Oral Res.* 6 (2), 33–39.
- 11) Toia CC, Teixeira FB, Cucco C, Valera MC, Cavalcanti BN. Filling ability of three bioceramic root-end filling materials: A micro-computed tomography analysis. *Aust Endod J.* 2020 Dec;46(3):424-431.

- 12) Akcay H, Arslan H, Akcay M, Mese M, Sahin NN. Evaluation of the bond strength of root-end placed mineral trioxide aggregate and Biodentine in the absence/presence of blood contamination. *Eur J Dent*. 2016 Jul-Sep;10(3):370-375.
- 13) Caron G, Azérad J, Faure MO, Machtou P, Boucher Y. Use of a new retrograde filling material (Biodentine) for endodontic surgery: two case reports. *Int J Oral Sci*. 2014 Dec;6(4):250-3.
- 14) Soundappan S, Sundaramurthy JL, Raghu S, Natanasabapathy V. Biodentine versus Mineral Trioxide Aggregate versus Intermediate Restorative Material for Retrograde Root End Filling: An Invitro Study. *J Dent (Tehran)* 2014;11:143-9.
- 15) Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Ashoftehyazdi K, Zahraee S, Khoshkhounejad M. Marginal adaptation of new bioceramic materials and mineral trioxide aggregate: a scanning electron microscopy study. *Iran Endod J* 2014;9:144-8.
- 16) Lee GW, Yoon JH, Jang JH, Chang H-S, Hwang YC, Hwang IN Oh et al. Effects of newly-developed retrograde filling material on osteoblastic differentiation in vitro. *Dent Mater J*. 2019;38:528-533.
- 17) Walsh, R.M., Woodmansey, K.F., Glickman, G.N., He, J., 2014. Evaluation of compressive strength of hydraulic silicate-based root- end filling materials. *J. Endod*. 40 (7), 969–972.
- 18) Ashi T, Mancino D, Hardan L, Bourgi R, Zghal J, Macaluso V, Al-Ashkar S, Alkhouri S, Haikel Y, Kharouf N. Physicochemical and Antibacterial Properties of Bioactive Retrograde Filling Materials. *Bioengineering (Basel)*. 2022 Oct 28;9(11):624.
- 19) Antunes HS, Gominho LF, Andrade-Junior CV, Dessaune-Neto N, Alves FR, Rôças IN, SiqueiraJF Jr. Sealing ability of two root-end filling materials in a bacterial nutrient leakage model. *Int Endod J*. 2016 Oct;49(10):960-5.
- 20) Chen I, Karabucak B, Wang C, Wang HG, Koyama E, Kohli MR, Nah HD, Kim S. Healing after root-end microsurgery by using mineral trioxide aggregate and a new calcium silicate-based bioceramic material as root-end filling materials in dogs. *J Endod*. 2015 Mar;41(3):389-99.
- 21) Zamparini F, Siboni F, Prati C, Taddei P, Gandolfi MG. Properties of calcium silicate-monobasic calcium phosphate materials for endodontics containing tantalum pentoxide and zirconium oxide. *Clin Oral Investig*. 2019 Jan;23(1):445-457.
- 22) Kim Y, Lee D, Kye M, Ha YJ, Kim SY. Biocompatible Properties and Mineralization Potential of Premixed Calcium Silicate-Based Cements and Fast-Set Calcium Silicate-

Based Cements on Human Bone Marrow-Derived Mesenchymal Stem Cells. *Materials* (Basel). 2022 Oct 28;15(21):7595.

23) Chen I, Salhab I, Setzer FC, Kim S, Nah HD. A New Calcium Silicate-based Bioceramic Material Promotes Human Osteo- and Odontogenic Stem Cell Proliferation and Survival via the Extracellular Signal-regulated Kinase Signaling Pathway. *J Endod.* 2016 Mar;42(3):480-6.