



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS**  
**CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA**

**EUDES RODRIGUES CUNHA**

**MATERIAIS RADIOPACIFICADORES PARA CIMENTOS ENDODÔNTICOS**  
**A BASE DE CIMENTO PORTLAND – UMA REVISÃO DE LITERATURA**

**FORTALEZA**

**2022**

EUDES RODRIGUES CUNHA

MATERIAIS RADIOPACIFICADORES PARA CIMENTOS ENDODÔNTICOS A  
BASE DE CIMENTO PORTLAND – UMA REVISÃO DE LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Metalúrgica do Departamento de  
Engenharia Metalúrgica e de Materiais da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial para obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Metalúrgica.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira  
Quevedo Nogueira

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C977m Cunha, Eudes Rodrigues.

Materiais radiopacificadores para cimentos endodônticos à base de cimento portland: uma revisão de literatura / Eudes Rodrigues Cunha. – 2022.  
51 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira.

1. Biomateriais. 2. Cimentos endodônticos. 3. Radiopacificadores. I. Título.

CDD 669

---

EUDES RODRIGUES CUNHA

MATERIAIS RADIOPACIFICADORES PARA CIMENTOS ENDODÔNTICOS A  
BASE DE CIMENTO PORTLAND – UMA REVISÃO DE LITERATURA

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Metalúrgica.

Aprovado em: 18/02/2022

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jorge Luiz Cardoso  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng.<sup>a</sup> Rafaella Cavalcante Regis  
Secretaria de infraestrutura do município de Russas

A Deus, aos meus pais, irmão e  
namorada que sempre deram apoio aos  
meus desafios.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, no qual eu tenho muita fé.

A minha família, principalmente meus pais e irmão, por me apoiarem e proporcionarem a oportunidade de ter ingressado nesta universidade.

A minha namorada Camila Tomé da Cunha que sempre me apoiou e foi companheira nos momentos mais difíceis.

A esta Universidade, seu corpo docente, direção e administração que deram todo suporte à minha vivência neste curso.

Ao Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira pela disponibilidade, sugestões e troca de experiências.

A todos os meus amigos, especialmente aos meus colegas de curso, Henrique Alencar, Francisco Antônio, Francisco Diego e Cícero Wagner, que sempre acreditaram em mim.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.” (Martin Luther King)

## RESUMO

Na obturação do sistema de canais radiculares a lacuna deixada pela polpa inflamada que é retirada deve ser preenchida com uma fina camada de cimento. O Agregado Trióxido Mineral é o cimento endodôntico mais utilizado e comercializado, pois possui propriedades de biocompatibilidade e a habilidade de promover uma reação regenerativa do tecido biológico humano, porém possui algumas desvantagens, sendo as principais o alto custo e o descoloramento do dente devido à presença de óxido de bismuto na sua composição. Portanto, outros materiais alternativos ao uso do bismuto têm sido estudados. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre as recentes descobertas em relação aos agentes radiopacificadores utilizados em cimentos endodônticos. Concluiu-se que os cimentos compostos por agentes radiopacificadores alternativos, como tungstato de cálcio, óxido de nióbio e óxido de zircônio, promovem uma menor alteração cromática.

**Palavras-chave:** Biomateriais, Cimentos endodônticos, Radiopacificadores.

## **ABSTRACT**

When filling the root canal system, the gap left by the inflamed pulp that is removed must be filled with a thin layer of cement. The Mineral Trioxide Aggregate is the most used and commercialized endodontic cement because it has biocompatibility properties and the ability to promote a regenerative reaction of human biological tissue. However, it has some disadvantages, the main ones being the high cost and tooth discoloration due to the presence of bismuth oxide in its composition. Therefore, other alternative materials to the use of bismuth have been studied. This study aimed to review the literature on recent discoveries in relation to radiopacifying agents used in endodontic cements. It was concluded that cements composed of alternative radiopacifying agents, such as calcium tungstate, niobium oxide and zirconium oxide, promote less chromatic alteration.

**Keywords:** Biomaterials, Endodontic cements, Radiopacifiers.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Anatomia interna de um dente. ....	12
Figura 2 - Implementação de cimento endodôntico .....	20
Figura 3 - Aplicação MTA .....	26
Figura 4 - Amostra de dente tratado com PC + 20% de óxido de zircônio após 24 horas .....	30
Figura 5 - Interações químicas entre os radiopacificantes óxido de zircônio e metacrilato (MA) e colágeno (Col) .....	31
Figura 6 - (A) Imagens de discos de MTA expostos à luz por 15 e 30 minutos. (B) Materiais radiopacificadores expostos a 0, 15 e 30 minutos. ....	32
Figura 7 - Dentes pré-molares tratados com cimentos com radiopacificadores de óxido de zircônio. ....	32
Figura 8 - Esquerda: óxido de zircônio. Direita: óxido de zircônio + hipoclorito de sódio .....	33
Figura 9 - Dente tratado com cimento Portland + 20% de óxido de zircônio em soluções de hipoclorito de sódio .....	34
Figura 10 - Dente tratado com Cimento Portland + 20% de óxido de zircônio em soluções distintas.....	34
Figura 11 - A) Guia de silicone posicionada sobre a coroa do dente e abertura vestibular para posicionamento da ponta ativa do espectrofotômetro. B) Espectrofotômetro posicionado no guia de silicone.....	37
Figura 12 - Ilustração esquemática representando o tratamento com diferentes tipos de cimento: (A) Resina Flow A3, (B) Cimento, (C) Sangue e (D) Resina Composta. ....	38
Figura 13 - Fotografias iniciais e finais dos dentes do Grupo MTA - HP .....	39
Figura 14 - Fotografias iniciais e finais dos dentes do Grupo MTA - óxido de bismuto.. .....	39
Figura 15 - Ilustração esquemática representando a avaliação da cor após tratamento .	39
Figura 16 - Amostra de dente tratado com Portland + 20% de tungstato de cálcio após 24 horas .....	40
Figura 17 - Amostra representativa da mudança de cor do dente em contato com cimento MTA.....	40
Figura 18 - Interações químicas entre os radiopacificantes tungstato de cálcio e metacrilato (MA) e colágeno (Col). ....	41
Figura 19 - Interface de material para dente de espécimes armazenados em hipoclorito de	

sódio vistos sob o microscópio estéreo para avaliar as mudanças de cor no material e na estrutura do dente (4×mag.).....	41
Figura 20 - Fotografia de radiopacificador tungstato de cálcio antes e após exposição ao hipoclorito de sódio. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias dos valores de $\Delta E$ mensurados nas coroas e raízes dentárias para as diferentes condições experimentais.....	36
Tabela 2 - Médias dos valores de luminosidade mensurados nas coroas e raízes dentárias para as diferentes condições experimentais.....	36

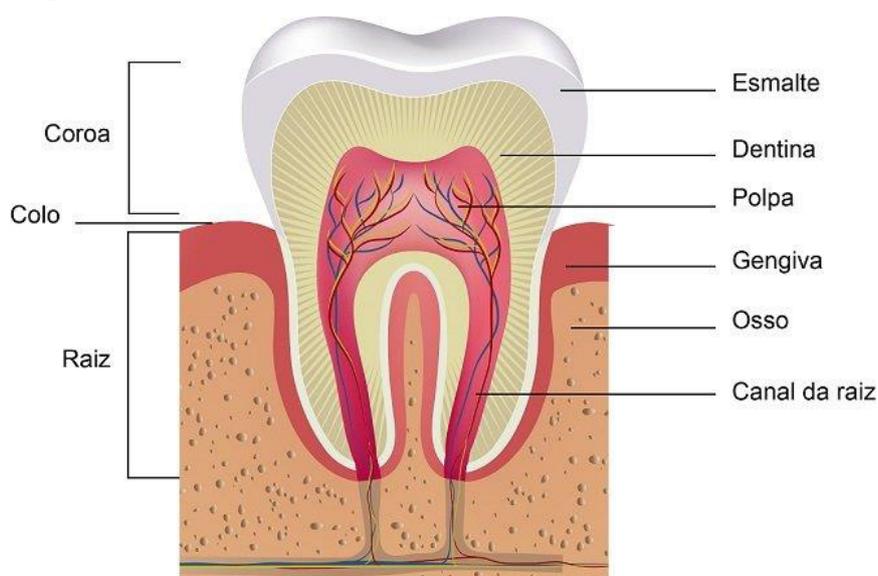
## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1	Objetivo Geral .....	15
2.2	Objetivos Específicos .....	15
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
4.1	Materiais Cerâmicos .....	17
4.2	Biocerâmicas .....	17
4.3	Cerâmicas Odontológicas .....	18
4.4	Cimentos Endodônticos .....	19
4.5	Propriedades dos cimentos endodônticos.....	21
4.5.1	<i>Propriedades do MTA e cimento Portland como cimentos endodônticos</i> .....	21
4.5.2	<i>Radiopacidade</i> .....	22
4.6	Tipos de cimentos endodônticos.....	23
4.6.1	<i>Óxido de zinco e eugenol</i> .....	23
4.6.2	<i>Hidróxido de cálcio</i> .....	24
4.6.3	<i>Cimentos à base de resina</i> .....	24
4.6.4	<i>Resilon</i> .....	25
4.6.5	<i>Agregado Trióxido Mineral – MTA</i> .....	26
4.7	Cimento Portland .....	27
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
5.1	Alternativas em substituição ao uso do óxido de bismuto .....	29
5.1.1	<i>Óxido de Zircônio</i> .....	29
5.1.2	<i>Óxido de nióbio</i> .....	34
5.1.3	<i>Tungstato de cálcio</i> .....	37
5.1.4	<i>Nanotecnologia</i> .....	42
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os dentes desempenham um papel importante para a vida, pois atuam na mastigação, fonética, sorriso, além de darem forma à face humana. As camadas do dente (Figura 1) se subdividem em: esmalte, dentina, polpa (tecido não mineralizado) e cemento, e cada uma possui funções diferentes. O papel do esmalte é proteger a dentina. Já a dentina fornece suporte para o esmalte subjacente e transmite impulsos do esmalte para a polpa dentária, enquanto a polpa ajuda na formação da dentina e fornece nutrientes para o dente. Além disso, por apresentar em seu interior terminações nervosas livres (Figura1), a polpa responde às agressões com dor e inflamação, ou seja, possui funções de defesa e recuperação. O cemento funciona para fornecer fixação às fibras de colágeno presentes no ligamento periodontal, mantendo assim a integridade da raiz e sua posição e também está envolvido na reparação e regeneração dos dentes (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Figura 1- Anatomia interna de um dente



Fonte: <https://www.dentalis.com.br/>

A Endodontia é uma ciência que envolve os estudos em tratamento endodônticos não cirúrgicos, o qual se divide em três grandes fases: acesso endodôntico, preparação biomecânica e obturação dos canais radiculares. A fase de obturação do canal radicular merece destaque por ser uma das fases mais importantes do processo de tratamento endodôntico, pois cerca de 60% dos insucessos endodônticos devem-se à inadequada obturação do sistema de canais radiculares (BUENO, 2013). Obturar um canal radicular significa retirar toda a polpa inflamada e preencher os espaços vazios com um

material inerte e antisséptico, selando todas as vias de entrada e saída de possíveis infiltrações para o interior do canal a fim de evitar a penetração de microrganismos e toxinas bacterianas no sistema endodôntico (RAYMUNDO *et al.*, 2005).

Na obturação do sistema de canais radiculares a lacuna deixada pela polpa inflamada que é retirada deve ser preenchida com uma fina camada de cimento e todo o restante com guta-percha. Como esta não consegue selar hermeticamente o canal radicular, a função do cimento é preencher e selar o espaço entre os cones de guta-percha e entre estes e as paredes dentárias. O cimento endodôntico é um material obturador cujas propriedades físico-químicas são fundamentais para que o objetivo da obturação do sistema de canais radiculares seja alcançado. Um cimento ideal deve contemplar algumas propriedades, como biocompatibilidade, viscosidade, boa adesão às paredes do canal radicular, tempo de trabalho satisfatório, promover selamento tridimensional, apresentar estabilidade dimensional, escoamento, radiopacidade, efeito antimicrobiano dentre outras (KANG *et al.*, 2015).

A radiopacidade é essencial para um cimento endodôntico. Graças a ela é possível distinguir entre as estruturas dentárias e os materiais de obturação do canal, utilizando-se a radiografia de raios-X. A radiopacidade permite a visualização do cimento e, por consequência, permite avaliar a qualidade do tratamento do sistema de canais radiculares, o que aumenta as chances de sucesso do procedimento endodôntico (WERLANG *et al.*, 2015).

O MTA (agregado de trióxido mineral) é o cimento endodôntico mais utilizado e comercializado. Ele possui propriedades de biocompatibilidade e a habilidade de promover uma reação regenerativa do tecido biológico humano. É comercializado em forma de pó sendo classificado em dois tipos: branco e cinza. Sua composição é basicamente formada de silicato de dicálcio, silicato de tricálcico, aluminato de tricálcio e óxido de bismuto. Esse cimento possui algumas limitações, tais como: custo alto, dificuldade de manuseio do material em determinados procedimentos, um tempo de presa longo, a não existência de um solvente para este material e a dificuldade de sua remoção após a presa. O descoloramento do dente devido à presença de óxido de bismuto na sua composição, também é uma desvantagem desse material (MARCIANO *et al.*, 2014).

O óxido de bismuto é o agente radiopacificador do MTA, utilizado devido à sua elevada densidade radiográfica e que não participa da hidratação do cimento. Porém, este componente influencia negativamente na proliferação celular da polpa dentária, diminui a resistência do material e é responsável pela alteração das cores dos elementos

dentários após um certo tempo de uso quando utilizados em capeamento pulpar direto (KOLAWOLE *et al.*, 2020).

O MTA apresenta uma composição semelhante ao cimento Portland com exceção da presença do óxido de bismuto, utilizado como radiopacificador. Em 2013 foi desenvolvida por Jeann Diniz Ferreira Lima uma dissertação de Mestrado, no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFC (Universidade Federal do Ceará), na qual foi proposto um estudo sobre a influência da adição de compostos inorgânicos radiopacificadores sobre as propriedades do cimento Portland, a fim de viabilizar sua utilização como um cimento endodôntico, semelhante ao MTA. Na dissertação foi desenvolvido um cimento endodôntico e baixo custo, a partir do cimento Portland branco, utilizando óxido de bismuto como agente radiopacificador. A partir daquele trabalho e considerando os dados atualmente disponíveis sobre os efeitos adversos do óxido de bismuto, este estudo realizou uma revisão de literatura atualizada sobre o tema e busca contribuir propondo opções ao óxido de bismuto como agente radiopacificador.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Esse trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre as recentes descobertas em relação aos agentes radiopacificadores utilizados em cimentos endodônticos que possam ser alternativas ao uso de óxido de bismuto.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Comparar os agentes radiopacificadores com o óxido de bismuto, mostrando suas vantagens e desvantagens.
- Propor alternativas de novos compostos que possam substituir o bismuto.
- Avaliar as opções de compostos que sejam mais viáveis, de boa qualidade e baixo custo.

### **3 METODOLOGIA**

O presente estudo consiste em uma revisão de literatura sistemática que contemplou os seguintes critérios de inclusão: artigos, monografias e teses nas línguas inglesa e portuguesa que dissertam sobre propriedades de elementos que compõem biocimentos utilizados na Endodontia. Foi realizada a pesquisa nos sites Science.gov, CAPES e Google Acadêmico para escolha dos descritores, designando como principais descritores: materiais biocompatíveis; cimentos endodônticos, agentes radiopacificadores na endodontia e como descritores secundários: materiais da endodontia; MTA e suas desvantagens.

Em seguida, os títulos foram escolhidos pela data de publicação (entre 2014 e 2021), resumo e por relevância nos resultados da pesquisa, sendo excluídos do estudo os documentos indisponíveis para acesso na íntegra não pertinentes ao assunto indicado, bem como os que estavam fora da delimitação temporal estabelecida. Dessa forma, foram selecionados ao todo 17 artigos mais relevantes.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Materiais Cerâmicos**

Os materiais cerâmicos são constituídos por elementos metálicos e não-metálicos que possuem ligações de natureza iônica e covalentes. Normalmente são incluídos nessa classe os óxidos, nitretos e carbetos, e como exemplos podemos citar refratários, cimento, vidro e porcelana. Estes materiais podem ser cristalinos, não cristalinos ou ambos. Materiais cerâmicos possuem alto ponto de fusão, geralmente isolantes elétricos, embora possam existir materiais cerâmicos semicondutores, condutores e até mesmo supercondutores (estes dois últimos em faixas específicas de temperatura), alta dureza, alta fragilidades e elevada resistência mecânica, mesmo em altas temperaturas. Isso se deve ao fato deles serem constituídos por planos de deslizamento independentes e ligações fortes. A elevada resistência à compressão é um fator típico desses materiais e o comportamento à compressão está diretamente ligado às suas forças interatômicas (CALLISTER Jr., 2002).

### **4.2 Biocerâmicas**

Por definição, qualquer material pode ser considerado um biomaterial desde que atue em um sistema biológico onde possa substituir uma função ou uma parte do corpo de forma segura e confiável. As principais características que levam à escolha de um biomaterial são suas propriedades de biocompatibilidade, propriedades químicas e propriedades mecânicas (PARK, 2007).

Em 1894, o gesso foi o primeiro cerâmico a ser estudado como biomaterial com Dreesman, que o utilizou como alternativa para substituir o osso. No entanto, devido sua baixa resistência mecânica e fácil absorção por parte do organismo, os estudos não seguiram adiante. A partir da década de 80, houve um avanço no estudo de biocerâmicas, novamente como alternativa de substituição do tecido ósseo, mais precisamente no preenchimento ósseo (AZEVEDO, 2017).

As biocerâmicas são classificadas em: bioinertes (ex.: alumina, zircônia, carbono), biorreabsorvíveis (fosfatos de cálcio) e bioativos (hidroxiapatita, biovidro e vitrocerâmicas biocompatíveis). Elas são mais utilizadas nas áreas de Ortopedia e Odontologia com foco na substituição e preenchimento de tecidos duros, como ossos e dentes. São exemplos de cerâmicas bioinertes: alumina e zircônia em cabeça de fêmur e

acetábulo de implantes coxofemorais e alumina em braquetes cerâmicos. São exemplos de aplicações de cerâmicas bioativas, como hidroxiapatita, biovidro e vitrocerâmica: revestimentos de implantes de liga de titânio e preenchimento de defeitos ósseos. Já a aplicação de cerâmicas biorreabsorvíveis pode ter como exemplo o preenchimento de defeitos ósseos. Atualmente existem novas aplicações das biocerâmicas na produção de próteses por impressão 3D e também como base para produção de nanoestruturadas para liberação controlada de fármacos (ZAVAGLIA, 2018).

### 4.3 Cerâmicas Odontológicas

As cerâmicas odontológicas são estruturas inorgânicas constituídas primariamente por oxigênio (O) com um ou mais elementos metálicos ou semimetálicos, tais como: alumínio (Al), boro (B), cálcio (Ca), cério (Ce), lítio (Li), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), silício (Si), sódio (Na), titânio (Ti) e zircônio (Zr). Elas podem possuir estrutura sólida cristalina ou amorfa (vidro). O principal composto das cerâmicas odontológicas é a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), a qual devido ao seu polimorfismo pode ser utilizada como base da formação de muitos compostos importantes, como por exemplo na formação do óxido de alumínio, dando origem aos vidros de alumino-silicato usado em cimentos de ionômero de vidro. Outro exemplo são os vidros de feldspato que são compostos cerâmicos a base de óxidos de alumínio, silício, potássio, sódio ou cálcio, os quais foram as primeiras biocerâmicas odontológicas produzidas e que são utilizadas atualmente em restaurações dentárias (ANDRADE *et al.*, 2017).

O uso das cerâmicas em detrimento de outros tipos de materiais estéticos se dá pelo fato de possuírem características específicas, sendo capazes de reproduzir os mais diversos e complexos fenômenos ópticos presentes na estrutura dental, tais como: fluorescência, opalescência, translucidez e opacidade. Outra característica importante para o uso das cerâmicas é a biocompatibilidade que está estreitamente relacionada com sua lenta degradação e alta estabilidade química, ou seja, preservação da cor e textura, principalmente em relação a outros materiais, como as resinas compostas. Essas vantagens mencionadas permitem que as cerâmicas possam ser utilizadas tanto para tratamentos estéticos, como para restaurações estruturais dos dentes (ANDRADE *et al.*, 2017).

As principais desvantagens do uso de cerâmicas na Odontologia são sua baixa tenacidade à fratura, sendo 10 vezes menor que a do metal. Assim, é necessária atenção maior quando utilizadas na formação de próteses e no contato direto com o esmalte do dente, podendo desgastar esse último. Normalmente isso acontece com frequência em

pacientes que apresentam hábitos parafuncionais, como bruxismo (BORGES *et al.*, 2017).

Com a busca de novos materiais e facilitação de seus processamentos surgiram as cerâmicas reforçadas que são caracterizadas pelo acréscimo de uma maior quantidade da fase cristalina em comparação à cerâmica feldspática. Diversos cristais como zircônia e alumina foram utilizados com a função de bloquear a propagação de trincas em situações que submetam a cerâmica a tensões de tração, havendo assim um aumento de sua resistência. A primeira cerâmica odontológica “aluminizada” foi reforçada com a incorporação de 40% de alumina, aumentando o seu teor de fase cristalina e levando ao dobro da resistência à flexão se comparada com as cerâmicas feldspáticas (ANDRADE *et al.*, 2017).

Os materiais cerâmicos se encontram em pleno desenvolvimento tecnológico, visto que nas últimas décadas foram introduzidos no mercado novos sistemas cujas durezas e estética foram melhoradas através da incorporação de vidros cerâmicos e adição de cristais para reforço, como o quartzo e a alumina (BARBOSA, 2018).

#### **4.4 Cimentos Endodônticos**

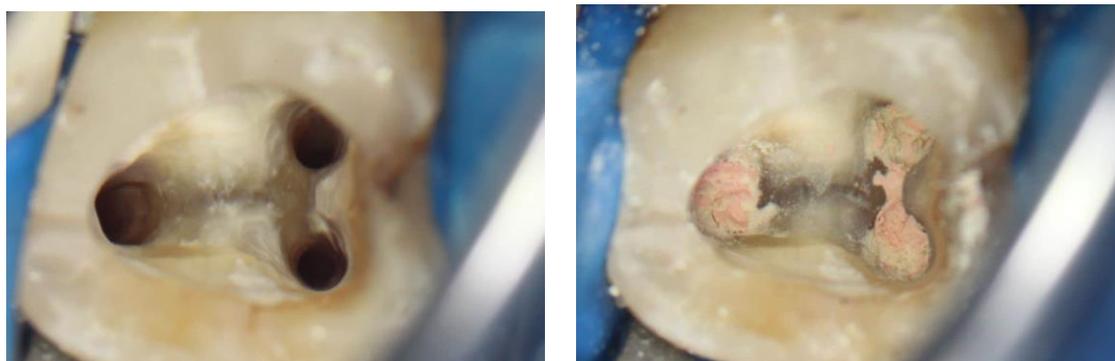
Os cimentos obturadores ou endodônticos são biocerâmicos bioativos com a capacidade de selamento e que estimulam o crescimento do tecido hospedeiro onde são aplicados. São utilizados em estado plástico no tratamento endodôntico de obturação de canal reticular. Geralmente são usados em conjunto com outro material obturador, o cone de guta-percha, que se destaca por ser um aglomerado sólido que tem como objetivo o preenchimento do canal, mas sem a capacidade adesiva suficiente para preencher e vedar totalmente o mesmo. A função do cimento endodôntico (ver Figura 2) é preencher e selar as lacunas existentes entre os cones de guta-percha e as irregularidades do canal radicular com o objetivo de evitar a contaminação do local (RAYMUNDO *et al.*, 2005).

O material utilizado na composição do cimento para obturação deve apresentar propriedades físicas e biológicas específicas como: biocompatibilidade, radiopacidade, fácil remoção com solventes comuns, boa aderência à dentina, ser bactericida ou bacteriostático, possuir um pH alcalino e ser bioativo de forma que no decurso do tempo de presa seja possível a formação de hidroxiapatita<sup>2</sup> (ESTRELA, 2004).

---

<sup>2</sup> A hidroxiapatita é um fosfato de cálcio considerada como biocerâmico utilizada em revestimento de implantes dentários, devido suas características semelhantes à fase mineral do tecido ósseo.

Figura 2 - Implementação de cimento endodôntico



Fonte: ANDRADE *et al.*, 2017

Os cimentos endodônticos são classificados de acordo com seu elemento base e os principais tipos encontrados no mercado são: óxido de zinco com eugenol, hidróxido de cálcio, ionômero de vidro e resinas. O primeiro cimento a ser desenvolvido e patentado em aplicações endodônticas foi o Agregado de Trióxido Mineral (MTA), a base de silicato de cálcio. No entanto, por existirem algumas desvantagens associadas ao seu uso, como: tempo de presa longo, dificuldade de manipulação e possibilidade de manchar a estrutura do dente, foi implementado no mercado norte-americano em 1999, o MTA constituído de íons de cálcio e fosfato. Desde então, esse material vem sendo amplamente estudado e ainda hoje apresenta-se como referência em comparação aos mais novos cimentos biocerâmicos. Apesar de terem sido agregadas outras composições químicas ao longo do tempo, ainda são necessárias novas melhorias para alcançar um resultado de excelência (ANDRADE *et al.*, 2017).

Em 2009, um novo cimento de silicato tricálcico, o Biodentine (BD), tornou-se comercialmente disponível, apresentando boa biocompatibilidade com fibroblastos gengivais e células da polpa dentária. Em comparação ao MTA, esse novo material apresentou melhores características em relação à sua manipulação no ambiente clínico, uma vez que completa seu tempo de presa em 12 minutos, permitindo que procedimentos restauradores sejam realizados em uma única sessão, além de haver menos despigmentação dos dentes quando realizada avaliação após um ano (LANDUCI, 2016).

Em 2019, uma nova fórmula do MTA (nome comercial “MTA - HP” Angelus PR Brasil) foi criada com o intuito de sanar as desvantagens em relação à descoloração do dente gerada pelo óxido de bismuto presente. Sua base continuou sendo o silicato de cálcio, mas passou por diversas melhorias nas suas propriedades com uma nova fórmula em pó e

com o plastificante orgânico líquido que promoveu um menor tempo de prensa, baixa solubilidade e melhor manuseio, utilizando o tungstato de cálcio como radiopacificador ao invés do óxido de bismuto (LANDUCI, 2016).

O cimento biocerâmico endodôntico Endosequence BC Sealer foi lançado recentemente e se destaca por suas propriedades físico-químicas e biológicas, como: pH alcalino, alta liberação de íons cálcio, adequada radiopacidade, capacidade de escoamento, atividade antibacteriana, biocompatibilidade e reparo de tecido duro (BORGES *et al.*, 2017).

## **4.5 Propriedades dos cimentos endodônticos**

### **4.5.1 Propriedades do MTA e cimento Portland como cimentos endodônticos**

O MTA, como já dito anteriormente, é o cimento endodôntico referência no uso de selamento de comunicações entre a cavidade pulpar e o ligamento periodontal. Esse cimento é composto em sua maior parte por cimento Portland, sendo o restante composto por aditivos e elementos radiopacificadores (SILVA *et al.*, 2021).

No final do século passado, o Portland era referenciado como um material de composição química e propriedades físicas semelhantes ao MTA, resultando em reações teciduais semelhantes quando estudado em animais, porém com menor custo. A comparação entre MTA e CP se justifica por terem os mesmos constituintes dentre os quais se destacam: óxido de cálcio e sílica. O MTA também contém óxido de bismuto que aumenta sua radiopacidade, entretanto este componente não está presente no CP. Tanto o MTA como o Portland também apresentam similaridades quanto as propriedades de potencial de biomineralização, selamento às pulpotomias e ao capeamento pulpar direto (BORGES *et al.*, 2017).

Os estudos indicando os compostos de cimento Portland como alternativa ao cimento MTA vem aumentando cada vez mais, devido as similaridades das suas propriedades. As propriedades dos cimentos endodônticos que podem se destacar são: pH alcalino, alta liberação de íons cálcio, adequada radiopacidade, capacidade de escoamento, bem como atividade antibacteriana, biocompatibilidade e reparo de tecido duro. (AMARAL, 2020)

#### 4.5.2 Radiopacidade

A radiopacidade é uma propriedade física de fundamental importância para a visualização e avaliação por radiografia da obturação do sistema de canais radiculares (“tratamento do canal”), a qual permite a distinção entre as estruturas dentais e os aspectos radiográficos dos materiais odontológicos. A norma padrão ISO 4049 determina que estes materiais devem ser mais radiopacos do que a dentina mensurada de acordo com o protocolo para radiopacidade de materiais dentários publicado pela mesma International Standards Organization (ISO) que define que estes “*devem apresentar uma radiopacidade igual ou superior àquela apresentada pela mesma espessura de alumínio, uma vez que este metal possui radiopacidade similar à da dentina*” (VERNER et al., 2011).

A norma ISO 6876, revisada em 2007, estabelece que a radiopacidade deve ser mensurada através de anéis metálicos com 10 (tolerância  $\pm 0,1$ mm) de diâmetro interno e 1 (tolerância  $\pm 0,1$ mm) altura, aparelho de raios-X operando a  $65 \pm 5$  kV, filme classificação grupo D ou E, escala de alumínio com 50 mm de comprimento e 20 mm de largura com variações de espessura de 0,5 mm a 9 mm. A norma determina que os cimentos endodônticos devem apresentar um valor de radiopacidade correspondente a 3 mm /Al (MARCIANO et al., 2015).

Os radiopacificadores não participam como reagentes na reação de hidratação da formação do cimento, no entanto eles podem alterar ou impedir a reação, pois podem gerar mudanças nas propriedades físicas do composto. Para a escolha do radiopacificador deve-se levar em consideração se a coloração é modificada com o tempo ou causa o escurecimento da estrutura dentária adjacente, o que ocorre quando é usado o óxido de bismuto que é mais comumente utilizado como radiopacificador do MTA. Logo, diferentes radiopacificadores fornecem diferentes níveis de radiopacidade e, portanto, as quantidades destes variam de acordo com cada produto (MARCIANO et al., 2014).

Silva et al. (2021) avaliaram a radiopacidade do cimento Portland acrescido de 20% dos seguintes radiopacificadores: óxido de bismuto, iodofórmio, sulfato de bário ou óxido de zircônio. Os cimentos Portland e o MTA Angelus foram usados como controles. Seguindo como norma ISO 6876, foram confeccionados cinco corpos-de-prova para cada material. Em seguida, empregando-se filmes oclusais, os corpos-de-prova foram radiografados juntamente com uma escala com espessura de 2 a 16 mm de alumínio. O aparelho de raios-X foi usado com 50 kVp (cinquenta quilovolts de pico), 10 mA e 18 pulsos por segundo sendo um foco-objeto de 33,5 cm. As radiografias foram digitalizadas

e as radiopacidades analisadas por um software. Os resultados mostraram que o cimento Portland acrescido de óxido de bismuto (5,88 mm / Al) e MTA Angelus (5,72mm / Al), fonte de maior radiopacidade, foram semelhantes entre si. As demais substâncias acrescidas ao cimento Portland seguiram a seguinte sequência de radiopacidade: óxido de zircônio (3,88 mm / Al), iodofórmio (3,51 mm / Al), sulfato de bário (2,35 mm / Al). O cimento Portland sem radiopacificador apresentou valor de radiopacidade de 1,70 mm / Al. Os autores concluíram que dentre as substâncias avaliadas, o óxido de bismuto proporcionou ao cimento Portland maior radiopacidade.

#### **4.6 Tipos de cimentos endodônticos**

Um cimento adequado para obturação, como já dito antes, deve ser de material biocompatível, antibacteriano, não tóxico e radiopaco, não reabsorvível e solúvel em meio aquoso. Além dessas características, atualmente é preferível que tenha custo acessível e fácil manuseio. Devido à complexidade de obter tais características em um único tipo de material, utiliza-se os cimentos endodônticos de acordo com sua composição. São exemplos de materiais existentes: cimentos à base de óxido de zinco eugenol, à base de hidróxido de cálcio, à base de resinas e MTA. Sendo este último, o material referência utilizado para cimentos endodônticos (BARBOSA, 2018).

##### **4.6.1 Óxido de zinco e eugenol**

Os cimentos endodônticos à base de óxido de zinco e eugenol foram desenvolvidos no começo do século XX por Grossman para melhorar o selamento dos cones de guta-percha ou prata na obturação em canais radiculares. O cimento de óxido de zinco eugenol é um cimento utilizado já há muitos anos e foi durante muito tempo o cimento padrão em Endodontia (AMARAL, 2020).

Este cimento é comercializado em pó e composto por óxido de zinco e eugenol e tem a função de facilitar a mistura do processo. O agente radiopacificante é o óxido de zircônia, no qual um milímetro do cimento corresponde entre 5 e 8 mm de alumínio, que é mais baixo do que a da guta-percha (DEE; PULEO; BIZIOS, 2002).

Os cimentos à base de óxido de zinco e eugenol possuem vantagens, como: baixa concentração de polimerização e boa ação antimicrobiana de longa duração e causa menores alterações dimensionais em comparação com outros cimentos endodônticos. Esses cimentos possuem ações antimicrobianas contra uma grande variedade de

microrganismos, se destacando ações contra suspensões de *Enterococcus faecalis* e bactérias anaeróbicas em até 7 dias após a mistura. Para utilização deve ser misturado com água, respeitando a relação de uma parte de pó para três de líquido. A reação provoca expansão volumétrica da guta-percha causando a vedação total do canal (ANDRADE *et al.*, 2017).

Alguns estudos já demonstraram que esses cimentos endodônticos possuem algumas desvantagens, tais como: capacidade de selamento menor que outros tipos de cimentos, liberação de algumas substâncias tóxicas ao organismo e maior solubilidade em relação aos outros cimentos, embora dentro dos limites das normas ISO (perda de 3% em peso de massa). Existem estudos que relatam a infiltração na região tratada devido ao tempo que o produto fica armazenado (medido até 2 anos), no qual foi verificado que a infiltração ocorre em camadas mais espessas do que em camadas finas. Sabe-se também que eugenol inibe a condução do impulso nervoso *in vitro*, observado em experiências com diferentes tecidos nervosos (POGGIALI *et al.*, 2018).

#### **4.6.2 Hidróxido de cálcio**

Os cimentos à base de hidróxido de cálcio reúnem as propriedades biológicas do hidróxido de cálcio puro com as propriedades físico-químicas necessárias a um bom selamento radicular. Esses cimentos endodônticos possuem como principal característica proporcionar a calcificação da região dentária tratada (ESTRELA, 2004).

Esses cimentos à base de hidróxido de cálcio possuem vantagens importantes em que se destacam: ação bactericida e bacteriostática, capacidade de estimular a calcificação, estimulação dos tecidos periapicais, estagnação da reabsorção interna, baixo custo e fácil manipulação (AMARAL, 2020).

Apesar de ser um cimento com vantagens importantes em um material endodôntico, os cimentos a base de hidróxido de cálcio possuem desvantagens, como: baixa solubilidade, não são naturalmente radiopacos, tem pouca fluidez, não tem boa viscosidade, não aderem à dentina e são permeáveis (BUENO, 2013).

#### **4.6.3 Cimentos à base de resina**

Cimentos à base de resina foram introduzidos na Endodontia em 1981 por Schroeder e desde então têm sido amplamente utilizados devido à sua baixa solubilidade e boa capacidade de selamento apical. Os cimentos de resina foram desenvolvidos para

serem utilizados em vez de óxido de zinco eugenol, melhorando assim o selamento dos canais radiculares e conferindo-lhes mais força quando comparados com os materiais convencionais (VALERIANO, 2018).

Dessa forma, podemos fazer as seguintes considerações em relação aos cimentos de resina epóxi: maior radiopacidade no AH Plus (13,6 milímetros) em relação ao AH 26 (9,3 milímetros), maior estabilidade dimensional no AH Plus, pois a sua concentração de polimerização é de 1,76 V% em relação ao AH-26 (1,46 V%), o AH 26 e o AH Plus são capazes de fluir para os orifícios dos túbulos dentários, permitindo uma boa adesão à dentina, as propriedades de manuseio são geralmente consideradas boas, a liberação de formaldeído é pequena e somente foi observada para o AH Plus (3,9 ppm), biocompatibilidade e fácil remoção do interior dos canais (ANDRADE *et al.*, 2017).

Esse tipo de cimento apresenta as seguintes desvantagens: o AH 26 tem uma quantidade prejudicial de liberação de formaldeído que é 1,347 ppm; devido a melhor adesão às paredes da dentina, a sua remoção com instrumentos rotatórios se torna mais difícil; menos resistência à fratura quando utilizados com guta-percha em comparação com o Resilon (LEVY *et al.*, 2017).

#### **4.6.4 Resilon**

O Resilon é um polímero termoplástico sintético com propriedades semelhantes a guta-percha e é utilizado como uma película adesiva entre o material obturador e o cimento. O tratamento com Resilon tem ganhado popularidade com o decorrer do tempo devido a sua biocompatibilidade com a parede do canal radicular, possibilitando um ótimo selamento radicular a longo prazo. O Resilon também é utilizado para retardar a mudança de coloração causada pelo cimento MTA, pois impede o contato do cimento com a estrutura dentária (BARBOSA, 2018).

Esse adesivo é utilizado em conjunto com um cimento à base de resina, denominado Epiphany (Pentrum Clinical Technologies), com objetivo de aumentar o preenchimento e melhorar a capacidade de adesão com a dentina. De acordo com a ISO (International Organization for Standardization) o Resilon pode ser comercializado nos tamanhos e formatos de cones e bastões (LEVY *et al.*, 2017).

As principais vantagens desses cimentos a base de resina são: ótima capacidade de selamento, boa resistência mecânica e boa radiopacidade, porém menor que o MTA. Os cimentos à base de resina de metacrilato usados com Resilon ou guta-percha foram removidos de forma mais eficaz e com menos material de preenchimento remanescente de

combinações de cimento / guta-percha convencionais. Para cimentos à base de resina de metacrilato, os biofilmes finos apresentaram maior resistência de união sobre os cimentos de obturação utilizados em Endodontia (ANDRADE *et al.*, 2017).

As principais desvantagens desse cimento são: o Epiphany detém o crescimento dos tecidos mesmo depois de diluições; o Resilon / Epiphany não tem boa capacidade de preenchimento em comparação as estruturas preenchidas com guta-percha e cimentos convencionais; gera partículas residuais nos canais radiculares; a citotoxicidade do Epiphany recém-misturado aumenta com o tempo, o que representa riscos citotóxicos significativos. O Epiphany é insolúvel nos solventes comumente utilizados e isso gera dificuldade no momento da remoção de cimentos de resina. Uma dentina de espessura fina ou o aumento do tempo de exposição aumentam a citotoxicidade, além disso, a marca RealSeal pode gerar manchas no dente (VALERIANO, 2018).

#### **4.6.5 Agregado Trióxido Mineral – MTA**

O MTA é um cimento endodôntico (Figura 3) hidrofílico comercializado em pó através de sachês de 1 mg. Os materiais encontrados em sua composição são tricálcio silicato (52-53%), silicato dicálcico (23%), tricálcio aluminato (0-4%), sulfato de cálcio (1,5%) e bismuto óxido (20%) como radiopacificante. A hidratação do pó resulta em um gel coloidal que solidifica, formando uma estrutura rígida (ANDRADE *et al.*, 2017).

Figura 3 - Aplicação MTA



Fonte: [www.angelfreireendodontia.com.br](http://www.angelfreireendodontia.com.br)

O cimento endodôntico do tipo MTA foi desenvolvido em 1993 pelo Dr. Mahmoud Torabinejad, sendo comercializado posteriormente em dois tipos: branco e

cinza, com composição basicamente de silicato de cálcio, silicato de tricálcico, aluminato de tricálcio e óxido de bismuto. O MTA é um biocerâmico com propriedades ideais para o uso endodôntico, sendo utilizado em terapias conservadoras a fraturas radiculares, como selador em perfurações, capeamento pulpar e material restaurador em diversas cirurgias. As principais propriedades deste cimento são: ótima biocompatibilidade com tecido pulpar, baixa citotoxicidade, estímulo da produção e liberação de moléculas de sinalização que são essenciais para a formação de novo tecido no espaço pulpar, ativação de cementoblastos e regeneração do ligamento periodontal (BARBOSA, 2018).

O MTA se tornou modelo padrão dentre os materiais utilizados no mercado, sendo amplamente estudado ao longo dos anos para que suas desvantagens fossem sanadas. Podemos destacar como resultado dessa evolução o MTA Ângelus®, por exemplo, que é um tipo de cimento amplamente comercializado no Brasil e que devido a presença de óxido de bismuto em sua composição gerava um efeito estético negativo no paciente, a descoloração do dente. No entanto, posteriormente houve uma mudança em sua estrutura que manteve a composição do composto de cálcio e o óxido de bismuto foi substituído por tungstato de cálcio (AMARAL, 2020).

Em relação a sua composição, o cálcio e fósforo são os principais constituintes do MTA. A preparação do produto para aplicação é dada através da mistura pó (cimento), após isso, observa-se a formação do gel coloidal (óxido de cálcio cristais). O tempo de formação para MTA cinza é 2,45 horas e branco 2,20 horas. Após a mistura, o pH encontrado é 10,2, após 3 horas passa a ser de 12,5. Quanto à força de compressão, o MTA evidenciou os menores valores (40 MPa) nas primeiras 24 horas, aumentando para 67 MPa após 21 dias (MOTA *et al.*, 2010).

#### **4.7 Cimento Portland**

Em 1824, Joseph Aspdin patenteou um produto denominado cimento Portland (CP) obtido a partir da calcinação da mistura de calcários procedentes de Portland na Inglaterra e materiais argilosos de silício. O produto misturado após moagem apresentou propriedades aglutinantes quando adicionado água. A mistura apresentou características favoráveis como: fácil manuseio, capacidade aglutinante e estabilidade. A partir desse momento, tanto a fabricação do cimento quanto as características físico-químicas evoluíram constantemente (ABCP, 2021).

O cimento Portland é utilizado nas mais diversas obras de construção civil

sendo classificado de acordo com sua composição. Os principais tipos encontrados no comércio são: cimento Portland comum; cimento Portland composto; cimento Portland de alto-forno; cimento Portland pozolânico. Os cimentos com características especiais e que são utilizados em situações específicas também são classificados de acordo com suas propriedades, como por exemplo: cimento Portland de alta resistência inicial; cimento Portland resistente aos sulfatos; cimento Portland branco; cimento Portland de baixo calor de hidratação; cimento para poços petrolíferos. Todos os tipos de cimento mencionados são regidos por normas da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2021).

## 5 DISCUSSÃO

Em 2013, Jean Diniz Ferreira de Lima desenvolveu um estudo, no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará, sobre o desenvolvimento de um cimento endodôntico tendo como matriz o cimento Portland com adição de elementos radiopacos (os mesmos utilizados em MTA) visando criar um material endodôntico de menor custo e com propriedades semelhantes ao MTA, cimento referência do mercado endodôntico. Apesar de sua ampla utilização, este cimento apresenta algumas desvantagens, tais como: alteração de cor do dente tratado, dificuldade de manuseio do material em determinados procedimentos, um tempo de presa longo, a não existência de um solvente para este material e a dificuldade de sua remoção após a presa. Além disso, o tratamento endodôntico com cimento MTA possui um alto custo. Segundo o site Dentalweb, o grama do MTA nacional de presa rápida (15 min) tem custo superior a R\$ 200,00. (LIMA, 2013)

A dissertação defendida por Lima constatou que o cimento Portland adicionado dos mesmos agentes radiopacificadores do MTA possui propriedades físicas e químicas semelhantes e com um custo bem menor. Segundo aquele autor:

O valor do grama de óxido de bismuto (Vetec) é R\$ 1,16 e do carbonato de bismuto (Vetec) R\$ 0,41. Já o valor do grama de MTA comercial é bem superior, tendo como exemplo uma caixa de MTA-Angelus Branco contendo dois sachês de 0,14 g de MTA que custa em média, R\$ 135, ou seja, 428 reais o grama (LIMA, 2013, p. 60).

Alguns estudos posteriores mostraram que o bismuto, elemento utilizado na pesquisa como agente radiopacificador, causa alteração cromática nos dentes que recebem o tratamento endodôntico, além dos seus adjacentes. Devido a isso, após a publicação daquela dissertação foram desenvolvidos materiais que podem ser utilizados como substitutos ao bismuto. Idealmente, o radiopacificador utilizado em associação ao CP não deve interferir negativamente em propriedades importantes, como tempo de presa, solubilidade, pH e liberação de íons cálcio (MARQUES JÚNIOR, 2018).

### 5.1 Alternativas em substituição ao uso do óxido de bismuto

#### 5.1.1 Óxido de Zircônio

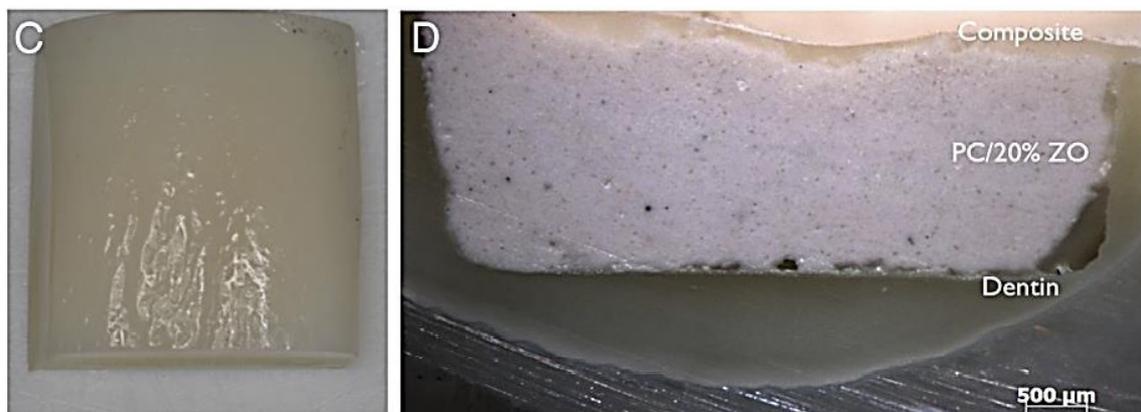
O cimento de óxido de zircônio tem sido comumente utilizado como material

obturador de canais radiculares alternativo aos cimentos MTA Angelus Branco, tipo mais utilizado no Brasil, pois não apresenta mudança na coloração do dente após um certo período (AMARAL, 2020).

Marciano *et al.* (2015) demonstraram através de um estudo que o óxido de bismuto gera mudança na coloração do dente e indica o uso de outros elementos como radiopacificadores, dentre eles o óxido de zircônio. No estudo foram analisados o cimento Portland (PC) com 20% de óxido de zircônio, PC com 20% de tungstato de cálcio e o MTA angelus branco. Foram preparados e obturados 50 dentes bovinos sendo armazenados em frascos separados imersos em água a 37°C e com a luz ambiente bloqueada. Segundo o autor:

A avaliação da cor foi realizada com espectrofotômetro em diferentes intervalos, ou seja, antes do preenchimento e 24 horas, 15 dias e 30 dias após o preenchimento. Alguns procedimentos adotados no estudo visaram replicar as condições clínicas. A imersão dos dentes em hipoclorito de sódio a 1% por 30 minutos representa o tempo médio de exposição durante o tratamento endodôntico (MARCIANO *et al.*, 2014, p. 3).

Figura 4 - Amostra de dente tratado com PC + 20% de óxido de zircônio após 24 horas

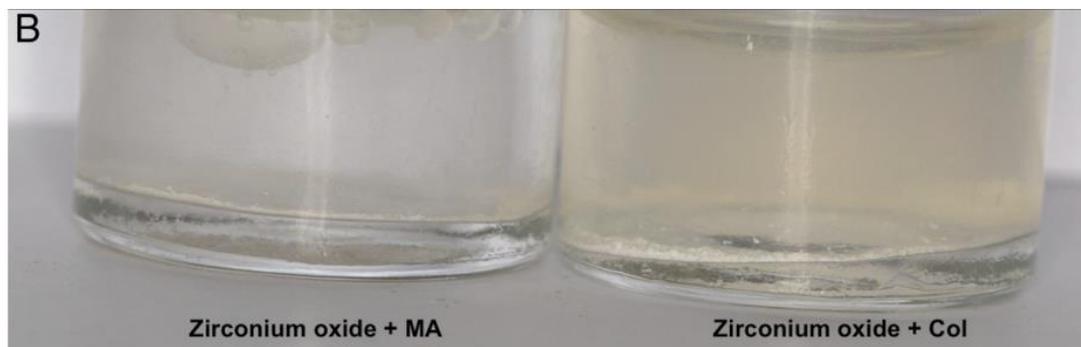


Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

Foi observado que os dentes tratados com MTA Angelus Branco quando em contato com hipoclorito de sódio mudaram a coloração. No entanto, não houve mudança nas amostras que foram obturadas com PC + 20% de óxido de zircônio. A análise espectrofotométrica do PC + 20% de óxido de zircônio em contato com colágeno não apresentou alteração de cor nem em contato com a dentina nem em contato com metacrilato ou colágeno (Figura 5). Portanto, os resultados dos experimentos mostram que a coloração do dente se mantém a mesma após o tratamento com cimento Portland adicionado com 20% de óxido de zircônio em substituição do óxido de bismuto, radiopacificador da formulação

WMTA Angelus, parecendo ser a abordagem ideal (MARCIANO *et al.*, 2015).

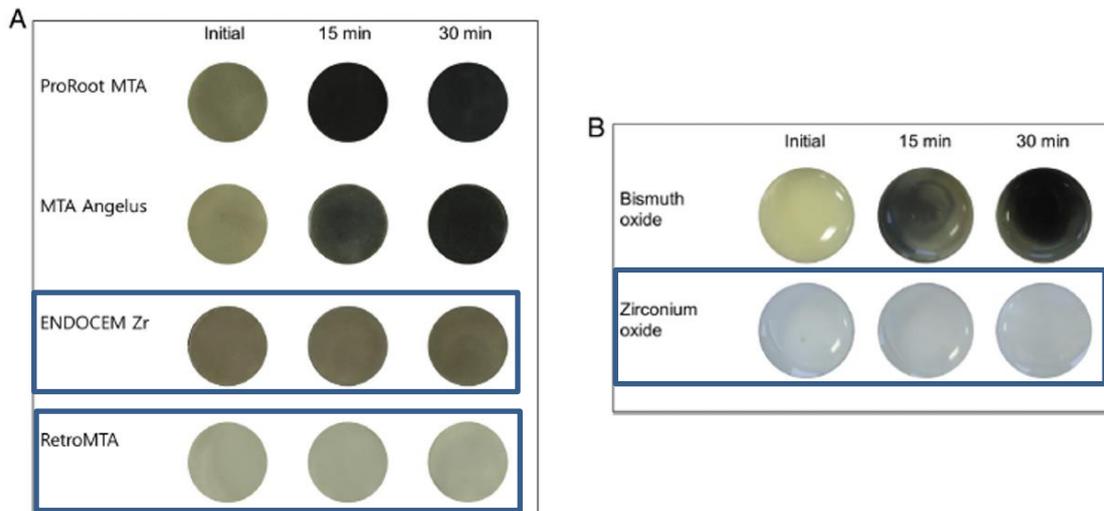
Figura 5 - Interações químicas entre os radiopacificantes óxido de zircônio e metacrilato (MA) e colágeno (Col)



Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

O estudo de Kang *et al.* (2015) mostrou que os cimentos EndoCem Zr e RetroMTA, os quais contêm óxido de zircônio como radiopacificador, não mudavam a coloração do dente, ao contrário do ProRoot MTA e MTA Angelus que contêm óxido de bismuto. A análise da descoloração foi realizada através de dois experimentos. No primeiro foram preparados discos a partir de 4 diferentes cimentos à base de MTA (ProRoot MTA, MTA Angelus, EndoCem Zr e RetroMTA), sendo observados 15 e 30 minutos após a exposição à luz na intensidade de 1000 mA/cm<sup>2</sup> (Figura 6). No segundo foram preparados 12 dentes pré-molares com preenchimento na câmara pulpar com os cimentos de MTA (ProRoot MTA, MTA Angelus, EndoCem Zr e RetroMTA) e observados durante 16 semanas usando um espectrofotômetro digital.

Figura 6 - (A) Imagens de discos de MTA expostos à luz por 0,15 e 30 minutos. (B) Materiais radiopacificadores expostos a 0, 15 e 30 minutos

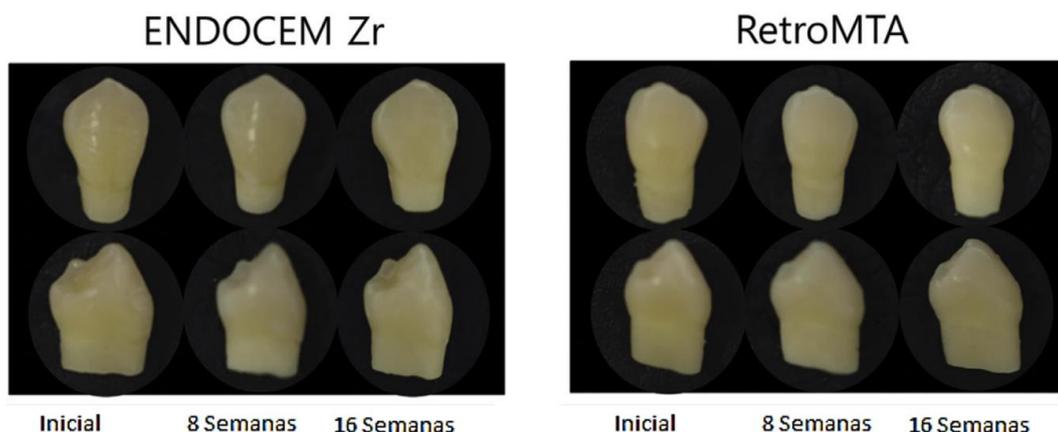


Fonte: KANG *et al.*, 2015

Os experimentos mostraram que RetroMTA e EndoCem Zr causaram menos descoloração durante o período experimental de 16 semanas (Figura 7) do que Angelus MTA e ProRoot MTA, normalmente mais usados. Segundo os autores:

A descoloração ocorre quando materiais contendo óxido de bismuto entram em contato com solução de hipoclorito de sódio e se oxidam. Quando o óxido de bismuto é oxidado, seu oxigênio se torna instável e reage com o dióxido de carbono do ar, produzindo carbonato de bismuto, que é sensível à luz e causa descoloração (KANG *et al.*, 2015).

Figura 7 - Dentes pré-molares tratados com cimentos com radiopacificadores de óxido de zircônio



Fonte: KANG *et al.*, 2015

O estudo concluiu que dentre as alternativas para evitar a coloração dos dentes, a utilização de cimentos com radiopacificadores de óxido de zircônio é uma solução a ser considerada, pois durante as 16 semanas de observação dos experimentos os dentes pré-molares tratados com MTA de radiopacificadores de óxido de zircônio não apresentaram mudança na coloração (KANG *et al.*, 2015).

Marciano *et al.* (2015) realizaram um estudo que mostrou que o cimento Portland com 20% de óxido de zircônio e material radiopacificador óxido de zircônio não apresenta mudança cromática quando tratado com hipoclorito de sódio, tanto antes como após a obturação dos dentes. As análises dos radiopacificadores foram feitas por difração de raios X (DRX) antes e após imersão em hipoclorito de sódio (Figura 8). Além disso, os dentes previamente imersos em água ou hipoclorito de sódio foram obturados com PC com óxido de zircônio 20% e outros tipos de cimentos e observados por 28 dias sendo posteriormente seccionados e caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com mapeamento dispersivo de energia e estereomicroscopia.

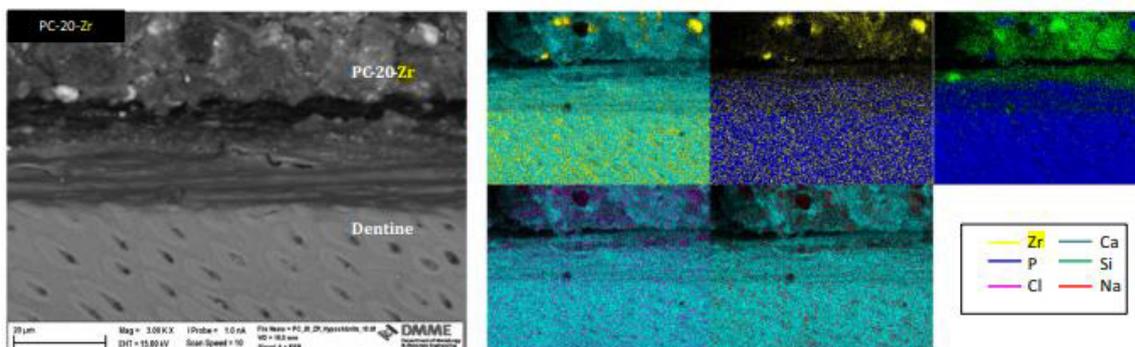
Figura 8 - Esquerda: óxido de zircônio e direita: óxido de zircônio + hipoclorito de sódio



Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

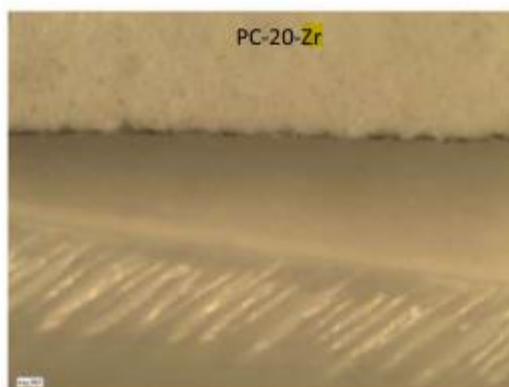
As análises por MEV mostraram os radiopacificadores presentes nos cimentos endodônticos migrando para a estrutura dentária, sendo o óxido de zircônio o mais denso (Figura 9). Como comprovado, o óxido de zircônio não muda de cor em reação com hipoclorito de sódio (Figura 10). Então, após penetração do cloro e sódio na estrutura dentária, a coloração permaneceu inalterada. O estudo concluiu que houve a alteração de cor na interface cimento/dentina no dente previamente imerso em hipoclorito de sódio e obturado com MTA Angelus branco. Cimento Portland + 20% de óxido de zircônio manteve a cor dos dentes (MARCIANO *et al.*, 2015).

Figura 9 - Dente tratado com cimento Portland + 20% de óxido de zircônio em solução hipoclorito de sódio



Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

Figura 10 - Dente tratado com Cimento Portland + 20% de óxido de zircônio em soluções distintas



Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

### 5.1.2 Óxido de nióbio

O óxido de nióbio é um composto derivado do nióbio e um dos metais mais estudados atualmente devido às suas características de resistência à corrosão, resistência mecânica, termodinamicamente estável, biocompatibilidade e boa radiopacidade. Logo, essas características tornam o composto uma possível alternativa para uso como radiopacificador em produtos odontológicos. A quantidade de agente radiopacificador adicionado aos materiais deve obedecer a um limite de adição de óxido de nióbio e ocorre aproximadamente aos 50 a 60% da massa total do cimento que será adicionado, pois influencia na precipitação do fosfato de cálcio (SILVA *et al.*, 2021).

O nióbio tem sido utilizado em materiais odontológicos por apresentar

excelentes propriedades físico-química e biológicas. Inada (2018) apresentou um estudo sobre alteração cromática causada por diferentes tipos de cimentos endodônticos, entre eles o cimento Portland adicionado 30% de óxido de nióbio ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) ao final de 180 dias. No estudo foram utilizados dentes bovinos ( $n=10$ ) seccionados em hemi-seções vestibular e palatina e preenchidos com diferentes cimentos endodônticos ( $n=10$ ): MTA associado com óxido de bismuto, cimento Portland associado ao óxido de nióbio, MTA Biodentine e também foram utilizados dentes sem preenchimento e com antibióticos. Os corpos de provas foram armazenados à  $37^\circ\text{C}$  com 100% de umidade. Os dados de alteração de cor ( $\Delta E$ ) e de luminosidade ( $L^*$ ) foram determinadas através do espectrofotômetro. A autora descreve o experimento da seguinte forma:

A cor e a luminosidade foram mensuradas antes da inserção dos materiais (T0), imediatamente após a inserção (T1) e após 7 dias (T7), 15 (T15), 30 (T30), 60 (T60), 120 (T120) e 180 (T180) dias pelo mesmo operador em uma sala fechada com luz artificial. À medida que os valores médios de  $L^*$  tendem a diminuir, as amostras ficam mais próximas ao preto absoluto, ou seja, mais escuras (INADA, 2018).

O cimento Portland com 30% de óxido de nióbio não apresentou alteração cromática ao final de 180 dias na estrutura dentária. Também foi observado que os índices de luminosidade ( $L^*$ ) e alteração de cor ( $\Delta E$ ) foram próximos aos do corpo de prova sem preenchimento (CN) (Tabelas 1 e 2), sugerindo um clareamento do dente. Foi concluído que o uso do óxido de nióbio como radiopacificador é esteticamente viável, pois não promove escurecimento dental e possivelmente gera clareamento da estrutura dentária (INADA, 2018).

Tabela 1- Médias dos valores de  $\Delta E$  mensurados nas coroas e raízes dentárias para as diferentes condições experimentais

Material	Período de Análise						
	Coroa						
	T1	T7	T15	T30	T60	T120	T180
CN	2,89 Aab	2,30 Aa	3,65 ABCab	4,96 ABb	4,83 Ab	5,42 Ab	5,73 Ab
CP	4,92 ABa	12,4 Db	13,21 Eb	13,63 Eb	19,92 De	26,95 Cd	27,02 Cd
TSC	4,50 ABab	4,61 Ba	3,11 ABa	9,47 CDc	9,36 BCc	6,77 Abc	8,08 Ac
TSC-Bi	5,52 Bcd	4,25 ABbc	2,68 Aab	2,67 Aa	3,97 Abc	6,60 Ad	5,71 Acd
TSC-Zr	3,37 ABa	4,89 BCab	5,01 Cab	7,35 BCc	12,17 Cd	6,80 Abc	5,42 Aabc
TSC-NB	3,83 ABa	7,05 Cbc	4,93 BCa	10,89 Dd	11,35 BCd	8,57 ABc	4,71 Aab
BD	11,46 Ccd	4,20 ABa	7,20 Db	8,35 CDb	8,96 Bbc	11,50 Bd	13,40 Bd

Fonte: INADA, 2018.

Tabela 2- Médias dos valores de luminosidade mensurados nas coroas e raízes dentárias para as diferentes condições experimentais.

Material	Período de Análise						
	Coroa						
	T1	T7	T15	T30	T60	T120	T180
CN	100 Aa	100 Aa	100 Aa	100 Aa	95,85 Bb	94,18 Bb	94,22 CDb
CP	99,51 ABa	88,68 Cc	88,16 Ccd	87,48 Bd	81,26 Ce	72,59 Cf	72,25 Ef
TSC	99,89 ABa	96,99 Bc	97,64 Bbc	98,99 Aab	96,91 ABcd	94,76 Be	94,80 BCde
TSC-Bi	99,42 ABa	99,48 Aa	100 Aa	99,96 Aa	99,70 Aa	96,17 Bb	96,49 ABCb
TSC-Zr	99,69 ABa	98,91 ABab	99,75 Aa	98,13 Aab	97,81 ABabc	96,60 ABc	97,04 ABbc
TSC-NB	99,83 ABab	98,08 ABbc	99,68 Aa	98,02 Aabc	97,89 ABabc	95,33 Bd	97,32 Ac
BD	98,78 Ba	96,74 Bb	100 Aa	100 Aa	96,16 Bb	99,18 Aa	92,28 Dc

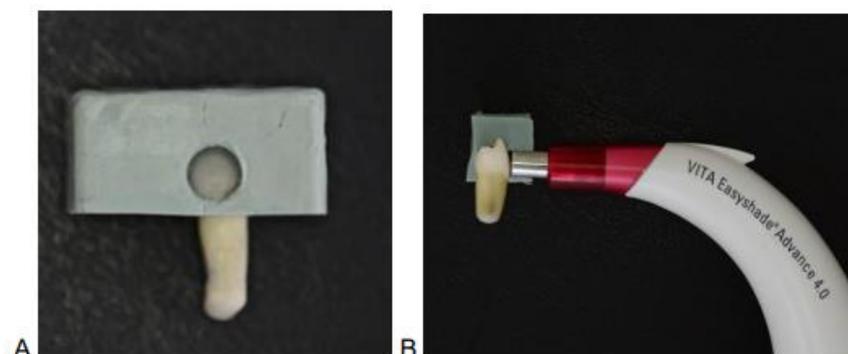
Fonte: INADA, 2018.

### 5.1.3 Tungstato de cálcio

O tungstato de cálcio é um pó branco que tem estrutura tetragonal. Sua densidade aparente é de 6.062 e é utilizado como radiopacificador alternativo ao óxido de bismuto que já foi associado ao cimento de silicato de cálcio demonstrando ter um tempo de presa, solubilidade e radiopacidade semelhante ao MTA e não altera a coloração dentária. O MTA RepairHP utiliza o tungstato de cálcio ( $\text{CaWO}_4$ ) como substituto do óxido de bismuto como um radiopacificador na fórmula, permitindo alta opacidade sem alterar a cor ou causar manchas no dente tratado (VERNER *et al.*, 2011).

Marques Júnior (2018) relatou em um estudo experimental que o MTA HP com radiopacificador tungstato de cálcio tem um efeito menor na coloração da estrutura dentária do que outros tipos de cimentos endodônticos, entre eles o MTA Branco Angelus com radiopacificador óxido de bismuto. O estudo analisou através da espectrofotometria (Figura 11) a alteração de coloração de 40 dentes pré-molares após o procedimento endodôntico de revascularização provocado pelos cimentos MTA com diferentes agentes radiopacificadores: cimento temporário Coltosol Coltene, MTA Branco Angelus - óxido de bismuto, MTA Repair HP Angelus - tungstato de cálcio, Biodentine - óxido de zircônio (Figura 12).

Figura 11 - A) Guia de silicone posicionada sobre a coroa do dente e abertura vestibular para posicionamento da ponta ativa do espectrofotômetro B) Espectrofotômetro posicionado no guia de silicone



Fonte: MARQUES JÚNIOR, 2018.

Figura 12 - Ilustração esquemática representando o tratamento com diferentes tipos de cimento: (A) Resina Flow A3, (B) Cimento, (C) Sangue e (D) Resina Composta



Fonte: MARQUES JÚNIOR, 2018.

As amostras que foram tratadas com cimento MTA HP apresentaram alteração cromática menor que as amostras com MTA Branco Angelus no mesmo período de exposição que foi de 4 meses (Figuras 13 e 14). As análises foram realizadas pelos espectrofotômetros (Figura 15). Os dentes avaliados nas amostras com radiopacificador de tungstato de cálcio apresentaram valores de alteração de cor acima da média padrão permitida. No entanto, foi dada a ressalva que o manchamento apresentado pelos dentes deste grupo pode ser atribuído à presença do sangue no interior do canal radicular, já que a presença de sangue também é um dos fatores que favorecem mudança cromática do dente. O estudo concluiu que o menor manchamento dos dentes foi das amostras com MTA HP quando comparados ao grupo MTA Branco Angelus, isso se deve a substituição do óxido de bismuto pelo tungstato de cálcio como agente radiopacificador (MARQUES JÚNIOR, 2018).

Figura 13 - Fotografias iniciais e finais dos dentes do Grupo MTA - HP



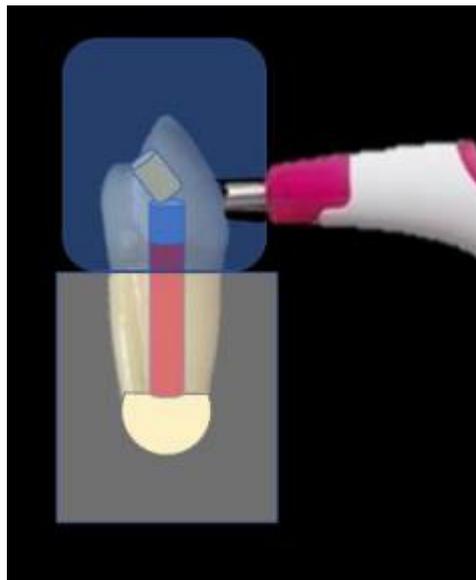
Fonte: MARQUES JÚNIOR, 2018.

Figura 14 - Fotografias iniciais e finais dos dentes do Grupo MTA - óxido de bismuto



Fonte: MARQUES JÚNIOR, 2018.

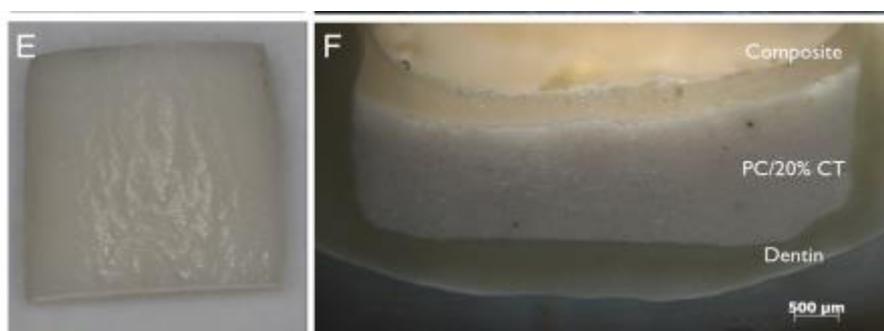
Figura 15 - Ilustração esquemática representando a avaliação da cor após tratamento



Fonte: MARQUES JÚNIOR, 2018.

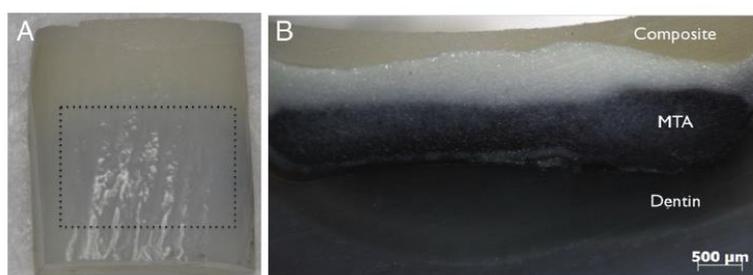
Marciano *et al.* (2015) em estudo experimental comparativo também mostrou que o tungstato de cálcio não interfere na coloração da estrutura do dente após o tratamento endodôntico. No estudo o cimento Portland adicionado 20% de tungstato de cálcio não apresentou reação adversa quando entrou em contato com a dentina e o colágeno, componentes fundamentais da estrutura dentária. A análise feita por espectrofotometria mostrou que a coloração do dente se manteve inalterada após um período de 24 horas (Figura 15) em comparação com MTA Angelus Branco com radiopacificador de óxido de bismuto (Figura 16).

Figura 16 - Amostra de dente tratado com Portland + 20% de tungstato de cálcio após 24 horas



Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

Figura 17 - Amostra representativa da mudança de cor do dente em contato com cimento MTA

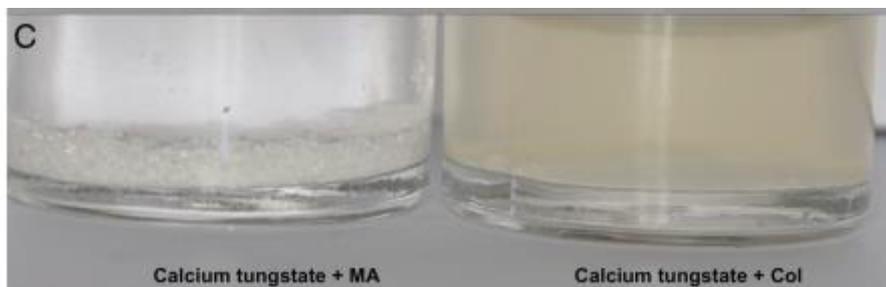


Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

A análise visual do cimento Portland com 20% de tungstato de cálcio imerso em solução de colágeno e metacrilato, substâncias presentes na estrutura dentária e adesivos, não mostrou alteração de cor na solução (Figura 18). O estudo concluiu que o óxido de bismuto é uma das causas da mudança de cor da estrutura dentária após o tratamento endodôntico. No entanto, demonstra através dos experimentos que outros radiopacificadores são alternativas na substituição do óxido de bismuto, entre eles o

tungstato de cálcio (MARCIANO *et al.*, 2015).

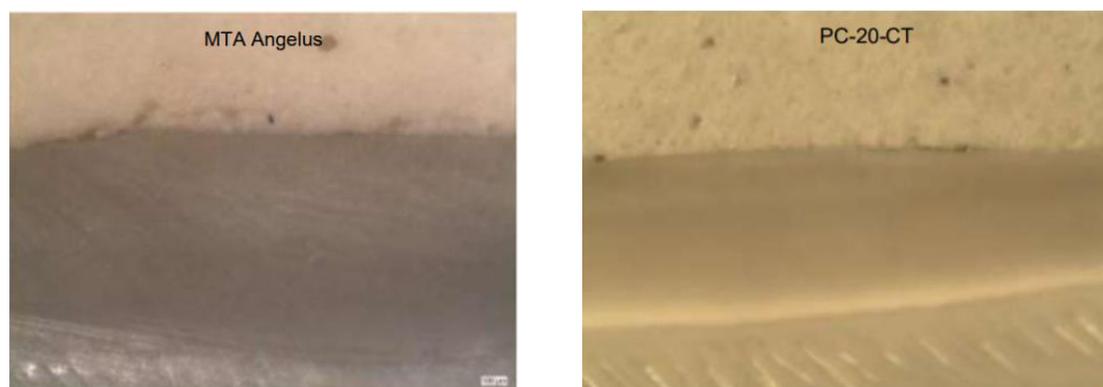
Figura 18 - Interações químicas entre os radiopacificantes tungstato de cálcio e metacrilato (MA) e colágeno (Col)



Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

Marciano *et al.* (2015) também mostra em seu estudo que o cimento Portland com 20% de tungstato de cálcio (PC-20-CT) não reage com o hipoclorito de sódio, ou seja, a cor da interface cimento/dentina (Figura 19) não foi alterada quando os corpos de provas estiveram imersos no hipoclorito em comparação com MTA Angelus.

Figura 19 - Interface de material para dente de espécimes armazenados em hipoclorito de sódio vistos sob o microscópio estéreo para avaliar as mudanças de cor no material e na estrutura do dente (4×mag.)



Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

Também foi observado a reação do radiopacificador de tungstato de cálcio com o hipoclorito de sódio e não houve reação de mudança de cor do composto (Figura 20). Através dessas análises foi observado que o óxido de bismuto causa mudança de coloração quando reage com hipoclorito de sódio e que o cimento Portland com 20% de tungstato de

cálcio é uma alternativa ao uso do MTA com radiopacificador de bismuto (MARCIANO *et al.*, 2015).

Figura 20 - Fotografia de radiopacificador tungstato de cálcio antes e após exposição ao hipoclorito de sódio



Fonte: MARCIANO *et al.*, 2015.

#### 5.1.4 Nanotecnologia

A nanomedicina surgiu como uma nova ferramenta para alavancar os avanços das aplicações de nanomateriais e tem se tornado cada vez mais presentes na medicina, principalmente na odontologia. Suas características estão se mostrando muito úteis em casos clínicos. Devido a intensa pesquisa na área de biomateriais e nanotecnologia, a eficácia e as possibilidades dos procedimentos odontológicos se expandiram imensamente ao longo dos anos. O tamanho nano dos materiais permite que eles exibam propriedades não presentes em suas contrapartes de maior escala (CANCINO *et al.*, 2014).

A ação dos nanomateriais nos organismos em que são adicionados se assemelham as dos biofilmes<sup>3</sup>. As nanopartículas interagem com as paredes celulares das bactérias e interrompem os processos de crescimento celular que posteriormente levam à morte celular. A principal característica das nanopartículas é a capacidade de atingir os canais laterais e ramificações da raiz do canal e combater inflamações não apenas eliminando sua forma planctônica através dos canais nervosos, mas também rompendo a matriz do biofilme (VIRLAN *et al.*, 2016).

Guta-percha é um polímero termoplástico de origem natural utilizado no

---

<sup>3</sup> O biofilme microbiano é uma comunidade complexa e estruturada de microrganismos aderidos entre si e/ou a uma superfície.

tratamento de inflamações no interior do dente. A composição química formada por uma molécula trans-1,4-poliisopreno e pode existir em diferentes formas cristalinas, alfa e beta, bem como na fase gama isomérica-amorfa. Na odontologia, a forma mais utilizada é a configuração beta em forma de cone de guta-percha que é estável e flexível à temperatura ambiente e é menos adesiva e fluida quando aquecida. Alpha é usada em métodos termoplásticos de preenchimento de canais radiculares, por exemplo Thermafil® (Dentsply Sirona, Charlotte, NC, EUA), e é adesiva e altamente fluida quando aquecida e quebradiça à temperatura ambiente (VISHWANATH *et al.*, 2019).

Esses materiais são comercializados em vários tamanhos e composição podendo variar dependendo do fabricante. As vantagens da guta percha são: fácil remoção do canal radicular, boa radiopacidade, boa estabilidade dimensional, não ser afetada pela umidade e não afeta a cor da estrutura dentária. Alguns estudos ainda mostram que possui propriedade antimicrobianas, devido a presença do óxido de zinco em sua composição. No entanto, a liberação de partículas de zinco causou citotoxicidade. Não existe registro de reação alérgica do uso apenas da guta percha (ZAKRZEWSKI *et al.*, 2021).

Atualmente a prata reduzida a nanoescala tem sido utilizada com frequência adicionada a cimentos devido suas propriedades antibacteriana e antifúngica, além da citotoxicidade relativamente baixa. As nanopartículas de prata em mistura com antibióticos potencializam sua ação antibacteriana, principalmente contra cepas resistentes aos antibióticos tradicionais (ALMADI *et al.*, 2021).

Vishwanath *et al.* (2020) indicam que o uso de nanodiamantes e partículas de nanoprata são uma ótima alternativa para atingir a vedação ideal e também gerar efeitos terapêuticos no tratamento endodôntico. No estudo é relatado que a guta percha revestida com nanoprata e nanodiamantes apresenta propriedades antissépticas e após modificação mostrou uma ação antibacteriana contra *E. faecalis*, *Staphylococcus aureus*<sup>4</sup>, *Candida albicans*<sup>5</sup> e *Escherichia coli*<sup>6</sup>. Em seus estudos também foram indicados que este material revestido é biocompatível e possui citotoxicidade semelhante à guta percha matriz, pois foi observado o menor nível de citotoxicidade entre os materiais testados após uma semana.

Segundo Zakrzewsk *et al.* (2021), para o tratamento endodôntico ser eficaz é

---

<sup>4</sup> Bactéria que pode causar infecção urinária, meningite e bacteremia, especialmente em ambientes hospitalares.

<sup>5</sup> Uma espécie de fungo que causa oportunamente alguns tipos de infecção oral e vaginal nos seres humanos.

<sup>6</sup> Uma bactéria que fica no trato digestivo e pode causar infecção urinária.

necessário eliminar a *C. albicans* como o patógeno responsável pelas causas do insucesso endodôntico. Jena *et al.* (2019) investigou o desempenho do cimento a base de resina epóxi, cimento de hidróxido de cálcio e cimento MTA adicionado a nanopartículas de quitosana. O estudo mostrou que essas nanopartículas geravam no cimento propriedades antifugicidas. Foi comprovado que o cimento hidróxido de cálcio integrado à nanopartícula de quitosana apresentou ótimas propriedades antimicóticas quando comparado ao Apexit Plus e MTA Fillapex.

O zircônio (Zr) é uma variação estabilizada do óxido de zircônio. Esse composto possui alta resistência ao desgaste, boas propriedades ópticas e baixa reatividade. Em decorrência de suas propriedades é utilizado em implantodontia, bem como em restaurações dentárias (ZAKRZEWSKI *et al.*, 2021)

O tratamento odontológico dos canais radiculares gera uma perda do tecido mineral do dente, enfraquecendo-o, e a depender da quantidade de tecido dentário perdida, sua reconstrução pode se tornar inviável. Com o propósito de fortalecer a estrutura já enfraquecida são utilizados compósitos de nanopartículas como enchimentos. A nanopartículas de resina epóxi adicionadas ao zircônio geram uma grande biocompatibilidade e ótimas propriedades mecânicas, possibilitando um processo de enriquecimento eficaz durante preenchimento (ONWUBU *et al.*, 2018). Alguns estudos mostram que a reconstrução de compósitos contendo nanopartículas de Zr apresentou melhora na resistência à compressão em comparação com outros compósitos e em comparação com micro e macromoléculas à base de sílica e bário (BUENO, 2013).

Segundo Versiani *et al.* (2016) a utilização de nanopartículas de óxido de zinco influencia na melhora nas propriedades do cimento, tais como: diminuição no tempo de presa, melhora na estabilidade dimensional, fluidez, solubilidade e radiopacidade do cimento, redução na citotoxicidade e inalteração da coloração da estrutura do dente.

Em um outro estudo foi observado que a incorporação de nanopartículas de prata e nanopartículas de óxido de zinco aumentam a atividade antimicrobiana, reduzindo significativamente a captação de glicose. No experimento foi obtido um cimento bioestável e não tóxico, caracterizado pela excelente resistência à hidrólise e boas propriedades mecânicas (ALMADI *et al.*, 2021).

Vishwanath *et al.* (2019) relataram que a adição de nanopartículas de prata com cimento à base de resina (AH26 e AHPlus), cimento à base de óxido de zinco-eugenol

Endofill<sup>®</sup> (PD Swiss, Vevey, Suíça) e cimento à base de hidróxido de cálcio (Sealer 26 e Sealapex) influencia no aumento nas características antimicrobianas dos cimentos endodônticos contra *E. faecalis*, *P. aeruginosa* e *E. coli.*, além de evitar o seu crescimento. Relata também que o uso de nanopartículas não deteriora as propriedades físicas. A fluidez destes novos cimentos (cimentos + nanopartícula) foi suficiente para preencher os canais acessórios e vazios entre os cones de guta-percha. Eles também exibem valores de radiopacidade superiores aos do osso ou da dentina. Esse tipo de cimento endodôntico pode ser vantajoso durante a obturação do canal radicular

## 6 CONCLUSÃO

Com base nas pesquisas realizadas e considerando-se as condições específicas de cada experimento, pode-se concluir que os cimentos que possuem um agente radiopacificador alternativo, como tungstato de cálcio (cimento MTA Repair HP), óxido de nióbio e óxido de zircônio (cimento Biodentine), promoveram uma menor alteração cromática em todos os experimentos. Também foi mostrada como alternativa a manipulação dos elementos radiopacificadores com tecnologia nanométrica, a qual demonstrou uma melhora nas propriedades mecânicas e antibacterianas, além de não afetar a coloração da estrutura dentária, mesmo reagindo com hipoclorito de sódio. Dessa forma, fica evidente a importância da realização de mais estudos sobre este tema a fim de proporcionar a elucidação de quais materiais possuem melhor desempenho.

## REFERÊNCIAS

ALMADI, Khalid H. *et al.* Antimicrobial efficacy of propolis in comparison to chlorhexidine against *Enterococcus faecalis*: a systematic review and meta-analysis. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 3469, 13 abr. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app11083469>.

AMARAL, Cleriston Silva dos Santos. **Cimentos biocerâmicos e sua aplicabilidade na endodontia**: revisão de literatura. 2020. 48 f. Monografia (Especialização) - Curso de Odontologia, Odontologia, Faculdade Maria Milza, Governador Mangabeira –, 2020. Cap. 6.

ANDRADE, Allany de Oliveira *et al.* Cerâmicas odontológicas: classificação, propriedades e considerações clínicas. **Saúde Multidisciplinar**, Bauru, p. 1127-1152, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Cimento Portland**. 2021. Disponível em: <https://abcp.org.br/>. Acesso em: 08 ago. 2021.

AZEVEDO, Kallyne Emilaine Silva de Queiroz. **Cimento biocerâmico reparador e suas propriedades na endodontia**. 2017. 27 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Odontologia, Medicina, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2017. Cap. 3.

BARBOSA, Glauber Ferreira. **Cimentos biocerâmicos na endodontia**. 2018. 30 f. Tese (Doutorado) - Curso de Odontologia, Medicina, Faculdade de Sete Lagoas Facsete, Belo Horizonte, 2018. Cap. 5.

BORGES, Alvaro Henrique *et al.* Physicochemical properties of MTA and Portland cement after addition of Aloe Vera. **Iranian Endodontic Journal**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 1-6, 2 jul. 2017. Iranian Endodontic Journal. <http://dx.doi.org/10.22037/iej.v12i3.10635>.

BUENO, Andrea Ponce. Estudio comparativo de filtración apical entre la técnica de compactación lateral en frío y técnica. **Odontologia Mexicana**, Cidade do México, n. 33, p. 573-576, nov. 2013.

CANCINO, Juliana *et al.* Nanotechnology in medicine: concepts and concerns. **Química Nova**, [S.L.], v. 37, n. 3, p. 95-146, 2014. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140086>.

CALLISTER JUNIOR, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 10. ed. São Paulo: Ltc, 2021. 620 p.

DEE, K. C.; PULEO, D. A.; BIZIOS, R. **An introduction to tissue-biomaterial interactions**. 2. ed. São Paulo: Wiley-Liss, 2002. 288 p.

ESTRELA, Prof. Dr. Carlos. **Endodontic Science**. São Paulo: Ed. Artes Médicas, 2004. 360 p.

INADA, Rafaela Nanami Handa. **Análise da alteração de cor promovida por materiais reparadores e cimentos endodônticos à base de silicato de cálcio com diferentes radiopacificadores**. 2018. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Odontologia, Faculdade de Odontologia de Araraquara, Araraquara, 201.

JENA, Amit *et al.* In vitro comparative evaluation of antifungal efficacy of three endodontic sealers with and without incorporation of chitosan nanoparticles against *Candida albicans*. **Journal Of Conservative Dentistry**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 564, 2019. Medknow. [http://dx.doi.org/10.4103/jcd.jcd\\_242\\_19](http://dx.doi.org/10.4103/jcd.jcd_242_19).

KANG, Shin-Hong *et al.* Color changes of teeth after treatment with various mineral trioxide aggregate-based materials: an ex vivo study. **Journal Of Endodontics**, [S.L.], v. 41, n. 5, p. 737-741, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2015.01.019>.

KOLAWOLE, Maruf Yinka; AWEDA, Jacob Olayiwola; ABDULKAREEM, Sulaiman; BELLO, Sefiu Adekunle. Biodegradable zinc alloys and composites for biomedical application: an overview of processing routes and possible future work. **European Journal Of Materials Science And Engineering**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 115-132, 20 set. 2020. Universitatea Gheorghe Asachi din Iasi. <http://dx.doi.org/10.36868/ejmse.2020.05.03.115>.

LANDUCI, Michel Cinto. **Caracterização das propriedades mecânicas de biomateriais metálicos**. 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Eng. Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2014. Cap. 8.

LEVY, Galit Katarivas *et al.* The prospects of zinc as a structural material for biodegradable implants—A review paper. **Metals**, [S.L.], v. 7, n. 10, p. 402, 1 out. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/met7100402>.

LIMA, Jeann Diniz Ferreira. **Desenvolvimento de um cimento endodôntico tendo como referência o agregado trióxido mineral**. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Cap. 4.

MARCIANO, Marina Angélica *et al.* Assessment of color stability of white mineral trioxide aggregate angelus and bismuth oxide in contact with tooth structure. **Journal Of Endodontics**, [S.L.], v. 40, n. 8, p. 1235-1240, ago. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2014.01.044>.

MARCIANO, Marina Angélica *et al.* Dental discoloration caused by bismuth oxide in MTA in the presence of sodium hypochlorite. **Clinical Oral Investigations**, [S.L.], v. 19, n. 9, p. 2201-2209, 30 abr. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00784-015-1466-8>.

MARQUES JÚNIOR, Rui Barbosa. **Avaliação da alteração cromática causada por cimentos endodônticos**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Odontologia, Medicina, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2018. Cap. 4.

MOTA, Cláudia Cristina Brainer de Oliveira *et al.* Propriedades e aspectos biológicos do agregado trióxido mineral: revisão da literatura. **Odontol Unesp**, Recife, v. 6, n. 5, p. 49-54, jan. 2010.

ONWUBU, Stanley Chibuzor *et al.* The effectiveness of nanomaterials in the management of dentine hypersensitivity - A review. **Journal Of Clinical Review & Case Reports**, Durban, v. 37, n. 5, p. 15-20, out. 2018.

PARK, Joon; LAKES, R. S. **Biomaterials: An Introduction**. Iowa City: Springer Science & Business Media, 2007. 562 p.

PIRES, Ana Luiza R.; BIERHALZ, Andréa C. K.; MORAES, Ângela M. Biomaterials: types, applications, and market. **Química Nova**, [S.L.], p. 1-7, 2015. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150094>.

POGGIALI, Ian Ferrari *et al.* Cimentos endodônticos a base de óxido de zinco e eugenol e cimentos a base de resina epóxica: propriedades que contribuem para o sucesso da endodontia. **Materiais Dentários**, Santo Agostinho, v. 37, n. 2, p. 95-108, ago. 2018.

RAYMUNDO, Andressa; PORTELA, Cecília Peixoto; LEONARDI, Denise Piotto; BARATTO FILHO, Flares. Análise radiográfica do preenchimento de canais laterais por quatro diferentes técnicas de obturação. **Revista Sul Brasileira de Odontologia**, Curitiba, p. 1-30, 02 fev. 2005.

SILVA, G. F.; GUERREIRO-TANOMARU, J. M.; FONSECA, T. S. da; BERNARDI, M. I. B.; SASSO-CERRI, E.; TANOMARU-FILHO, M.; CERRI, P. S. Zirconium oxide and niobium oxide used as radiopacifiers in a calcium silicate-based material stimulate fibroblast proliferation and collagen formation. **International Endodontic Journal**, [S.L.], v. 50, p. 95-108, 6 jun. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/iej.12789>.

SILVA, Giomara Catherine *et al.* Estudio comparativo de propiedades del cemento Portland con diferentes opacificadores y MTA presentes en el mercado. **Journal Of Multidisciplinary Dentistry**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 86-90, 4 ago. 2021. Faculdade do Centro Oeste Paulista. <http://dx.doi.org/10.46875/jmd.v10i2.265>.

VALERIANO, Caio Felipe Souza. **Biomateriais**: uma ponte para o desenvolvimento de um coração artificial total permanente. 2018. 39 f. Monografia (Especialização) - Curso de Biomedicina, Medicina, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018. Cap. 5.

VERNER, Francielle Silvestre *et al.* Radiopacidade de diferentes cimentos resinosos utilizando imagem digital direta. **Hu Revist**, Juiz de Fora, v. 37, n. 2, p. 139-146, abr. 2011.

- VERSIANI, Marco Aurélio *et al.* Zinc Oxide Nanoparticles Enhance Physicochemical Characteristics of Grossman Sealer. **Journal Of Endodontics**, [S.L.], v. 42, n. 12, p. 1804-1810, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.023>.
- VIRLAN, Maria *et al.* Organic Nanomaterials and their applications in the treatment of oral diseases. **Molecules**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 207, 9 fev. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules21020207>.
- VISHWANATH, Vijetha *et al.* Gutta-percha in endodontics - A comprehensive review of material science. **Journal Of Conservative Dentistry**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 216, 2019. Medknow. [http://dx.doi.org/10.4103/jcd.jcd\\_420\\_18](http://dx.doi.org/10.4103/jcd.jcd_420_18).
- WERLANG, A.C.; SLONGO, P.; MEZZOMO, V.C.; FORNARI, V.J. Avaliação da radiopacidade de quatro cimentos endodônticos. **Journal Of Oral Investigations**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 11-17, 30 dez. 2015. Complexo de Ensino Superior Meridional S.A.. <http://dx.doi.org/10.18256/2238-510x/j.oralinvestigations.v4n2p11-17>.
- ZAKRZEWSKI, Wojciech *et al.* Nanomaterials application in endodontics. **Materials**, [S.L.], v. 14, n. 18, p. 5296, 14 set. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma14185296>.
- ZAVAGLIA, Cecília. **O uso de biocerâmicas na medicina e odontologia**. Disponível em: <https://www.abceram.org.br/64cbc/o-uso-de-bioceramicas-na-medicina-e-odontologia>. Acesso em: 1 ago. 2021.