

Faculdade de Sete Lagoas - FACSETE

Alessandra Vidotti Louzada

Bruna Gonçalves Chaves

Nathalia Duque Pereira

BIOCERÂMICOS REPARADORES NA ENDODONTIA: uma revisão de literatura

BELO HORIZONTE

2023

Alessandra Vidotti Louzada

Bruna Gonçalves Chaves

Nathalia Duque Pereira

BIOCERÂMICOS REPARADORES NA ENDODONTIA: uma revisão de literatura

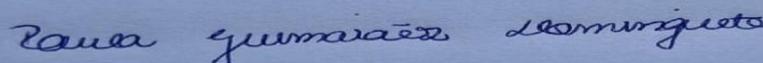
Monografia apresentada no curso de Especialização em Endodontia da Faculdade de Sete Lagoas - FACSETE como requisito parcial para obtenção do título de especialista em Endodontia.

Orientadora: Prof^a. Ms. Paula Guimarães Dominguete

COMISSÃO ORGANIZADORA



Prof. Dra. Sônia Lara Mendes



Prof^a. Paula Guimarães Dominguete



Prof. Marcelo Mangelli Decnop Batista

Belo Horizonte

2023

AGRADECIMENTOS

Hoje estamos finalizando uma nova etapa e em breve nos tornaremos especialistas em endodontia. Não foi nada fácil chegar até aqui, tivemos nossas dificuldades ao longo do curso, mas com muito amor e dedicação conseguimos vencer cada degrau. Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, porque sem ele jamais conseguiríamos chegar até aonde chegamos. Aos nossos familiares e amigos, por todo apoio e compreensão, as nossas professoras Sônia, Paula, Larissa e Mariana por toda paciência e ensinamentos, as nossas amigas e colegas de turma que tornaram essa caminhada mais leve. A todos vocês nossa eterna gratidão!

RESUMO

O MTA (Agregado de Trióxido Mineral) é um cimento biocerâmico desenvolvido na década de 1993 através de um cimento de construção civil denominado cimento de Portland. O material é composto por silicatos, agentes químicos e radiopacificadores, e possui a capacidade de atuar em diversas situações clínicas como selamento de perfurações, capeamento pulpar, apicectomias, apecificação, reabsorções radiculares, entre outros. O MTA possui diversas propriedades químicas, físicas e biológicas que contribuem para se tornar um material biocompatível, bioativo, com alta alcalinidade e baixa solubilidade, além de possuir um bom selamento e ser resistente a compressão. Diversos estudos têm sido publicados ao longo dos anos e citam a mudança realizada na composição do cimento, como a manipulação, modo de inserção e a mudança dos radiopacificadores.

Palavras-chave: Trióxido Mineral Agregado. Cimentos Hidráulicos. Silicato de Cálcio. Perfurações endodônticas.

ABSTRACT

MTA (Mineral Trioxide Aggregate) is a bioceramic cement developed in the 1990s through a civil construction cement called Portland cement. The material is composed of silicates, chemical agents and radiopacifiers, and has the ability to act in various clinical situations such as sealing perforations, pulp capping, apicectomies, apexification, root resorptions, among others. MTA has several chemical, physical and biological properties that contribute to becoming a biocompatible, bioactive material, with high alkalinity and low solubility, in addition to having a good seal and being resistant to compression. Several studies have been published over the years and mention the change made in the composition of the cement, such as manipulation, insertion mode and the change of radiopacifiers.

Keywords: Aggregate Mineral Trioxide. HydraulicCements. CalciumSilicate. Endodonticperforations.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al_2O_3	Óxido de Alumínio
Ca^+	Cálcio
CaCl_2	Cloreto de Cálcio
Ca(OH)_2	Hidróxido de Cálcio
CSC	Cimentos a base de silicato de cálcio
FeO	Óxido de ferro
GMTA	MTA Cinza
IRM	Óxido de zinco e eugenol
MgO	Óxido de Magnésio
MTA	Agregado de Trióxido Mineral
SCR	Sistema de canais radiculares
WMTA	MTA Branco
HP	High plasticity

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo Geral.....	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
4.1 MTA e Cimento de Portland.....	11
4.2 Constituintes e Biocompatibilidade.....	11
4.3 Propriedades.....	14
a) Químicas.....	14
b) Físicas.....	15
c) Biológicas.....	20
4.4 Manipulação e espatulação do MTA.....	21
4.5 Aplicações clínicas.....	21
4.6 Cimentos obturadores.....	23
5. DISCUSSÃO.....	23
5.1 Aplicações e indicações.....	23
5.2 Solubilidade e Porosidade.....	24
5.3 Selamento/vedamento de perfurações.....	25
5.4 MTA branco x cinza.....	26
5.5 Bioatividade.....	26
5.6 Propriedades.....	27
6. CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

O Trióxido Mineral Agregado (MTA) foi desenvolvido em 1993 a partir do cimento de Portland utilizado na construção civil. O material é constituído por silicato de oxido tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e aluminoferrita tetracálcica, que pode ser utilizado tanto em via coronal quanto em abordagem cirúrgica externa. Um fator importante em ambas as abordagens é conseguir realizar uma boa vedação, porém isso pode ser afetado pela localização e habilidade do operador e também pelas características de um bom material de reparo (LEE, S.J.; MONSEF, M.; TORABINEJAD, M.; 1993).

O primeiro artigo publicado acerca de seu uso foi conduzido por Lee *et al.* (1993) onde o cimento foi empregado em selamento de perfurações radiculares. A partir desse estudo, foi possível observar que o material possuía várias propriedades químicas, físicas e biológicas satisfatórias, como por exemplo: biocompatibilidade, bioatividade, alta alcalinidade, baixa solubilidade, bom selamento marginal, capacidade antimicrobiana, radiopacidade, estabilidade dimensional e resistência à compressão (BRONZEL.C.L.Z. *et al.*; 2021).

Após vários estudos conduzidos na odontologia, o MTA foi considerado padrão ouro nos casos relatados. O material usado inicialmente foi modificado para realizar reparações de raízes, porém graças as suas propriedades hidráulicas e capacidade de vedação, seu uso foi ampliado para outras indicações clínicas como: selamento de perfurações radiculares, capeamento pulpar direto e indireto, retroobturação em cirurgias parendodônticas, apecificação, remineralização de dentina e reabsorções radiculares (PRATI.C.; GANDOLFI.M.G.;2015).

Um material ideal de reparo endodôntico deve aderir adequadamente às estruturas dentais, ter boa vedação, ser insolúvel aos fluidos bucais, ser dimensionalmente estável, ter boa radiopacidade, não ser reabsorvível e principalmente ser biocompatível com os tecidos bucais. Vários outros materiais foram historicamente utilizados, tais como amálgama, cimentos à base de óxido de zinco e eugenol, cimentos ionômero de vidro e também as resinas compostas, porém nenhum deles consegue cumprir adequadamente com os requisitos de um material ideal (ROBERTS, H. W. *et al.*2008).

Os primeiros cimentos tinham um tempo de presa prolongado, manuseio inadequado e também um potencial de descoloração bastante evidente. Com isso, ao longo dos anos, modificações em suas fórmulas foram sendo feitas para melhorias no produto, sendo denominados biocerâmicos de 2^a e 3^a gerações. Um novo material inserido no mercado foi o MTA HP da Angelus, que teve a substituição da água destilada por um líquido contendo um plastificador orgânico para facilitar a manipulação do produto. Além disso, como substituto do óxido de bismuto, foi adicionado tungstato de cálcio, capaz de evitar a descoloração dentária. Além dele, o Bio-C Repair também começou a ser comercializado com alterações, principalmente por ser um material *putty*, pronto para uso, em uma seringa rosqueável, facilitando sua inserção nos locais desejados (CINTRA, L.T.A. *et al.*; 2017).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o uso dos cimentos biocerâmicos reparadores na Endodontia.

2.2 Objetivos específicos

- a) revisar os principais aspectos sobre os cimentos biocerâmicos.
- b) caracterizar as propriedades e os benefícios do uso desse material.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para realização deste trabalho, foram realizadas buscas de artigos científicos nas bases de dados PubMed, SciELO, Cochrane Library e Lilacs com as palavras chave: “MTA”, “Mineral TrioxideAggregate” e “CalciumSilicate” na língua inglesa. Foram pesquisados artigos no período de 1993-2021. Revisões sistemáticas, estudos experimentais *in vivo* e *ex vivo*, estudos observacionais e relatos de casos clínicos foram incluídos no presente trabalho.

Palavras-chave: Trióxido Mineral Agregado, Cimentos Hidráulicos, Silicato de Cálcio, Perfurações endodônticas.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 MTA e Cimento de Portland

Dreger *et al.* (2012) realizaram um estudo, *in vivo*, com o objetivo de analisar a interação do MTA e do cimento de Portland quando em contato com a dentina. Para isso, 72 tubos de dentina foram preenchidos com MTA branco, MTA BIO, Cimento de Portland + 20% de óxido de bismuto e Cimento de Portland + 10% de cloreto de cálcio, e posteriormente foram inseridos no tecido subcutâneo de ratos. Depois de 30, 60 e 90 dias a amostra foi avaliada com microscopia eletrônica de varredura. Nos 30 e 60 dias iniciais, a deposição de tecido mineralizado na interface dentina/cimento e no interior dos túbulos dentinários foi detectada em maior quantidade nos grupos preenchidos com MTA. Depois dos 90 dias, o tecido mineralizado foi detectado em todos os grupos, sendo possível concluir então que todos os cimentos têm propriedades bioativas. Porém, os grupos contendo MTA foram mais efetivos no processo de biomineralização.

4.2 Constituintes e Biocompatibilidade

Camilleri *et al.* (2006) realizaram uma revisão de literatura com o objetivo de avaliar os constituintes e a biocompatibilidade do MTA. Após a revisão dos critérios de inclusão e exclusão, 13 artigos a respeito dos constituintes foram selecionados, bem como 53 estudos sobre a biocompatibilidade do mesmo. Com base neles, foi possível observar que o material consiste em 50-75% de óxido de cálcio e 15-25% de dióxido de silício. Quando a espatulação é realizada, ocorre a produção de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e aluminoferrita tetracálcico, gerando um gel hidratado na presença de umidade. Além disso, um estudo comparativo entre o MTA branco e o cimento de Portland mostrou que ambos possuem constituintes semelhantes, exceto pela presença do radiopacificador no MTA e partículas de gesso e metais pesados no cimento de Portland, conferindo a esse último partículas maiores e irregulares. Foi relatado também que o mecanismo de ação do MTA é bem semelhante ao do Ca(OH)_2 , uma vez que libera íons Ca^+ e

possui pH alcalino, sendo capaz de produzir hidroxiapatita. Por fim, os estudos também exibiram que o material não é osteogênico.

Posteriormente, Primus *et al.* (2019) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar os biocerâmicos em relação à padronização ISO, desde a sua biocompatibilidade até a conformidade como cimento reparador. O pó presente nesses cimentos é similar aos encontrados no cimento de Portland, porém com diversas modificações para serem usados na odontologia. Em 1998, existia apenas o material experimental do tipo MTA disponível. Hoje em dia o mercado possui mais de 20 produtos odontológicos a base de silicato de cálcio, que conferem as propriedades de hidrofiliabilidade, alcalinidade, liberação constante de íons cálcio, bioatividade e biocompatibilidade. Os autores concluíram então que esses cimentos foram capazes de induzir a cicatrização de tecidos periapicais (cimento e ligamento periodontal), diferentemente de qualquer outro material já utilizado, e seu uso está indicado em diversas situações clínicas endodônticas.

O estudo realizado por Silva *et al.* (2020) avaliou a biocompatibilidade e o potencial bioativo de dois cimentos biocerâmicos, Bio-C Sealer e Sealer Plus BC, em comparação ao AH Plus. Eles analisaram a resposta inflamatória e a presença de células reparadoras, como a osteocalcina, em tecidos subcutâneos de ratos ao redor de tubos de polietileno contendo cimento. Após análise laboratorial, observaram que as células inflamatórias diminuíram progressivamente e que o AH Plus não apresentou marcação positiva para osteocalcina. Concluíram então, que os cimentos Bio-C Sealer e Sealer Plus BC se mostraram biocompatíveis ao longo do tempo e apresentaram células que induzem o reparo tecidual. Já o AH Plus se mostrou biocompatível, porém sem potencial bioativo.

Jafari *et al.* (2017) realizaram uma revisão de literatura a fim de avaliar a genotoxicidade de um biocerâmico quando em contato com o tecido periodontal, uma vez que o uso desses cimentos está sendo cada vez maior na endodontia devido suas propriedades de biocompatibilidade e alta osteocondutividade. Os autores concluíram então que os cimentos a base de silicato de cálcio tiveram menor genotoxicidade que o AH Plus. Além disso, os cimentos MTA Fillapex e o AH Plus foram os materiais que mais apresentaram genotoxicidade e causaram a morte celular.

Orange *et al.* (2017) realizaram uma revisão de literatura com o objetivo de discutir o papel dos constituintes na formulação de cimentos à base de silicato de cálcio bem como os parâmetros de suas reações e propriedades físicas. Foram selecionados 96 artigos que descrevem os componentes e o motivo de sua adição à mistura. Constatou-se que os principais constituintes são: *Silicato tricálcico* (atua na hidratação, fixação e na resistência inicial do produto), *Silicato dicálcico* (hidratação mais lenta), *Aluminato tricálcio* (tem a maior taxa de hidratação entre os componentes, assim, serve para acelerar o processo de hidratação e melhorar a resistência à compressão a curto prazo dos compósitos do cimento), *Sais de estrôncio* (melhora as propriedades osteoindutoras e a bioatividade), *Sulfato de cálcio* (utilizado para controlar a velocidade da reação de presa), *Óxido de bismuto, sulfato de bário ou óxido de zircônio* (radiopacificadores) e *Cloreto de cálcio* (acelerador de hidratação e de presa). Com base nessa revisão, conclui-se que fatores como a formulação dos materiais, tempo de presa, proporção de mistura e morfologia das partículas devem ser considerados ao se projetar um material ideal.

Os cimentos endodônticos biocerâmicos foram confeccionados e introduzidos nos últimos anos baseando-se nas características e composição favoráveis dos silicatos de cálcio. Donnermeyer *et al.* (2018) realizaram uma revisão de literatura acerca dos cimentos obturadores a base de silicato de cálcio (CSBS). Foram selecionados 168 artigos com conteúdo relevante sobre os seguintes cimentos: iRoot SP, EndoSequence BC Sealer, TotalFill BC Sealer, BioRoot RCS, Endoseal MTA e Endo CPM. Todos esses materiais têm comportamento parecidos. Com base na revisão os autores concluíram que os cimentos bicerâmicos são biocompatíveis, indutores de tecido duro, não citotóxico, não genotóxico, não provocam descoloração dentária nem dor pós operatória significativa. Quando comparados com os cimentos resinosos, apresentam propriedades antimicrobianas superiores. Entretanto, apresentam maior solubilidade e maior taxa de escoamento que o cimentos a base de resina. Nos casos de retratamento endodônticos, também se mostraram de difícil remoção. Com base no exposto, os autores concluíram que os CSBS exibem características comparáveis ou, em partes, até superiores aos cimentos resinosos.

Giacomino *et al.* (2019) realizaram um estudo comparativo entre o EndoSequence BC Sealer e o ProRoot para determinar a biocompatibilidade, bioatividade e diferenciação osteoblástica quando em contato com os tecidos periapicais. Através das análises com células basais, concluíram que os cimentos citados possuem maior biocompatibilidade celular do que o AH Plus. Tanto o EndoSequence BC Sealer quanto o ProRoot tiveram diferenciação e mineralização de células precursoras de osteoblastos, sendo que o EndoSequence BC Sealer teve uma melhor resposta. Os cimentos podem ser bons auxiliares durante o processo de cicatrização, promovendo bom vedamento e função osteoblástica.

4.3 Propriedades

a) Químicas

Camilleri *et al.* (2005) realizaram um estudo para determinar a constituição de duas versões comerciais do MTA (branco e cinza) e analisar a morfologia da superfície do pó. Os resultados mostraram a versão do MTA branco com a presença de partículas alongadas semelhantes a agulhas, enquanto a versão cinza apresentou pequenas partículas irregulares. O MTA branco exibiu a presença de cálcio, silício, bismuto e oxigênio, enquanto o MTA cinza exibiu uma composição de cálcio, silício, alumínio, ferro, bismuto e oxigênio. Cálcio e Silício foram os elementos predominantes. O estudo concluiu que o cimento de Portland é muito semelhante ao MTA, mas esse último possui óxido de bismuto adicionado, conferindo radiopacidade ao material.

Asgary *et al.* (2005) também compararam a composição dos cimentos MTA branco e MTA cinza. Os resultados da análise indicaram que a cal, sílica e óxido de bismuto foram os compostos dominantes nos dois cimentos. Além disso, observaram que as diferenças mais significativas foram nas concentrações de alumínio, magnésio e ferro no MTA cinza e que os cristais contidos nele eram maiores que no MTA branco, acreditando então que o responsável por deixar a cor acinzentada nos dentes seria o ferro.

Devido ao manchamento provocado pelo material, mesmo em sua versão com pó branco, Marciano *et al.* (2014) realizaram um estudo de caso controle para analisar a interação química entre o óxido de bismuto e os componentes presentes

na estrutura dentária que resultava em uma alteração de cor, prejudicando a estética. Mesmo após a versão com pó branco ter sido comercializada, apenas a redução do ferro não foi suficiente, uma vez que o radiopacificador óxido de bismuto também é responsável pelo manchamento da estrutura. No presente artigo, 50 dentes bovinos foram preparados para receber a mistura de MTA branco, cimento de Portland com 20% de óxido de zircônio e cimento de Portland com 20% de tungstato de cálcio. Os resultados mostraram que os dentes que receberam o MTA branco tiveram uma descoloração acinzentada e manchas na dentina bastante evidentes, e o óxido de bismuto quando em contato com o colágeno, exibiu uma coloração preta. Já os outros grupos não apresentaram nenhuma alteração de cor. Dessa forma, os autores concluíram que o colágeno presente na matriz reage com o óxido de bismuto e causa um escurecimento dentário, sendo indicado um radiopacificador alternativo na composição.

Fridland *et al.* (2003) avaliaram a solubilidade e a porosidade do MTA frente à diferentes proporções de pó e líquido e determinaram a composição química dos sais dissolvidos pelo material. Foi possível observar que o grau de solubilidade e porosidade aumentava à medida que a quantidade de pó ficava maior. Em relação as análises químicas dos sais, foi identificado que o cálcio era o principal composto químico presente e que o pH era altamente alcalino. Dessa forma, os autores concluíram que o cálcio encontrado está no estado de hidróxido, podendo estar relacionado à capacidade comprovada do MTA de induzir mineralização.

b) Físicas

Lee *et al.* (1993) realizaram, *in vitro*, o primeiro trabalho utilizando o MTA em selamento de perfurações laterais. O objetivo do estudo foi avaliar a capacidade de vedamento desse cimento ao ser comparado com o amálgama e IRM. Os elementos dentários foram preparados e selados com esses três materiais e, posteriormente, colocados em azul de metileno a fim de avaliar o grau de penetração do corante. Os autores puderam observar que o MTA possuiu um melhor vedamento devido a presença de óxidos minerais que se solidificam em contato com a umidade. Além disso, independente do grau de extrusão dos materiais ou do sub preenchimento dos locais perfurados, o MTA ainda obteve menor infiltração do corante. Sendo

assim, foi possível concluir que a capacidade de vedamento do MTA é superior ao do amálgama e IRM. Ainda no mesmo ano, Torabinejad *et al.* compararam a qualidade do vedamento desses mesmos materiais em retroobturações de raízes. E mais uma vez o estudo pôde concluir que o MTA apresentou uma maior adaptação às paredes dentinárias e obteve menor quantidade de lacunas não preenchidas ao ser comparado com os demais.

Em um outro estudo, Hashem *et al.* (2008) avaliaram a capacidade de selamento de perfurações com MTA e IRM. Foram realizadas perfurações em região de furca nos 80 molares inferiores selecionados e posteriormente as comunicações foram seladas com três tipos de materiais diferentes (ProRoot MTA, MTA Angelus e IRM). Além disso, na metade da amostra foi utilizada uma matriz de colágeno para impedir extravasamento em excesso do material ou subvedamento do local. Após o teste de penetração do corante, foi possível concluir que o ProRoot MTA possui excelente capacidade seladora, podendo ser utilizado com ou sem matriz de colágeno na reparação de perfurações em furca. Já o MTA Angelus deve ser utilizado com matriz de colágeno e, por fim, o uso do IRM deve ser limitado por possuir baixa capacidade de vedamento.

Dawood *et al.* (2015) realizaram um estudo para explorar os cimentos a base de silicato de cálcio e fornecer as recomendações ideais para o uso clínico desses materiais. Dentre esses cimentos, estão disponíveis no mercado o Biodentine, Bioaggregate e Endosequence. Há relatos de que o MTA com presa acelerada de CaCl_2 possui uma maior força de ligação push out. A adição dessa substância ao cimento de Portland melhorou a resistência de união após a imersão em solução com fosfato, já a adição ao MTA aumenta a liberação de íons cálcio que interagem com fluidos teciduais formando os sais de fosfato de cálcio e hidroxiapatita. Os cristais que são semelhantes a estes fluidos precipitam na interface, produzindo ligações químicas e mecânicas que melhoram a força de união e a capacidade de vedação do MTA. Por outro lado, acredita-se que a ligação física e química dos cimentos a base de silicato de cálcio (CSC) seja o principal fator para a biocompatibilidade, atividade mineralizadora e a capacidade de vedação desse cimento. Apesar de todas essas características, os primeiros biocerâmicos possuíam algumas desvantagens, que eram a dificuldade de manuseio, maior tempo de presa,

componentes tóxicos, dificuldade de recuperação na área tratada, descoloração de dente e alto custo.

O Biodentine é um biocerâmico que contém presa rápida e é comercializado como substituto da dentina. Sua consistência é parecida com o fosfato de zinco e pode ser inserido diretamente na cavidade. O tempo de presa varia de 6-45 minutos, possui resistência a flexão e módulo de elasticidade que são superiores ao do MTA e semelhante a dentina. Sendo mais denso e menos poroso do que o MTA. Sua indicação é para dentes vitais e outras aplicações endodônticas que envolvem reparo dentinário, cimento e regeneração pulpar. O Bioaggregate é um cimento livre de aluminato, com baixos níveis de contaminação por oligoelementos. O tempo de presa é de aproximadamente 4 horas. Quando comparado ao MTA, ele possui menos resistência a trincas após forças compressivas. Quando colocado em contato com solução fisiológica cria precipitados que se assemelham a hidroxioapatita, apresenta maior porosidade e menos trincas na interface cimento-dentina quando comparado com o Biodentine. Possui também menos efeitos citotóxicos e grandes propriedades antibacterianas e antifúngicas. O material é indicado em casos de perfurações, reabsorção, obturação de raiz e apacificação. Dreger *et al.* (2012).

O Endosequence Root Repair é um CSC pré misturado que foi criado como uma pasta pronta facilitando seu manuseio e aplicação. O tempo de presa varia entre 2-4 horas. A microdureza do material foi semelhante ao do Biodentine e inferior ao do MTA. Ele é indicado em perfurações, cirurgias, tampões apicais e capeamento. Conclui-se então, que esses novos cimentos a base de silicato de cálcio foram lançados para superar as limitações do MTA inicialmente comercializado, tendo em vista que é necessário realizar mais pesquisas para a comprovação. Giacomino *et al.* (2019).

Duarte *et al.* (2018) realizaram uma revisão a fim de discutir as propriedades físicas, químicas e biológicas do MTA, além das modificações nos cimentos à base de silicato de cálcio atuais. Os autores citaram as principais aplicações clínicas desses materiais e enfatizaram que esses procedimentos são realizados em contato direto com tecidos vivos e fluidos corporais, o que favorecem modificações físicas e interações químicas neles. Dessa forma, os biocerâmicos são o cimento de escolha por apresentam alcalinidade, selamento adequado, insolubilidade, radiopacidade

ideal, além de serem biocompatíveis, bioativos e hidrofílicos. Outro fator analisado pelos autores foi a substituição do óxido de bismuto, presente nas primeiras formulações, por radiopacificadores alternativos, uma vez que estava associado ao manchamento da coroa dentária. Em relação a sua consistência, o MTA Angelus resultava em uma mistura arenosa e de difícil inserção. Devido a isso, novos cimentos hidráulicos foram incorporados no mercado, visando uma consistência melhorada, manipulação facilitada e com mais fluidez, como o MTA HP, MTA Flow e Biodentine.

Galarça *et al.* (2018) realizaram um estudo comparativo descritivo para avaliar as propriedades físico-químicas e a citotoxicidade do MTA HP e do MTA Angelus. Foram avaliados o tamanho das partículas, tempo de presa, espessura, radiopacidade, solubilidade e resistência a compressão. Durante a hidratação, o MTA Angelus forma um gel coloidal rígido com consistência arenosa, o que dificulta o manuseio do material. O MTA HP, por sua vez, possui fácil manipulação, tem como radiopacificador o tungstato de cálcio e apresentou propriedades biológicas adequadas nas células-tronco da polpa dental. Os materiais avaliados no presente estudo foram manipulados de acordo com as recomendações dos fabricantes. Como resultado dessa pesquisa, o MTA HP apresentou viabilidade celular semelhante, menor espessura do material, maior vazão e tempo de presa, e valores de resistência a compressão similares após 28 dias. Os autores concluíram então que o MTA HP apresentou propriedades semelhantes ao do MTA Angelus.

Zordan *et al.* (2019) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar as propriedades físico-químicas (tempo de presa, escoamento, valor de pH, radiopacidade e solubilidade de um novo cimento biocerâmico obturador desenvolvido pela Angelus, o Bio-C Sealer, comparado ao TotalFill BC Sealer e ao AH Plus. Os resultados exibiram que os biocerâmicos tiveram radiopacidade, estabilidade dimensional e alcalinidade similares. Entretanto, o Bio-C Sealer apresentou menor tempo de presa e maior escoamento e solubilidade. O AH Plus, por sua vez, exibiu maior radiopacidade e menor escoamento, pH, solubilidade e alteração de volume. Portanto, os autores concluíram que o novo cimento biocerâmico obturador possuiu um menor tempo de presa, alcalinidade e adequado

escoamento e radiopacidade, bem como estabilidade dimensional. Porém, a solubilidade do Bio-C Sealer foi maior que a recomendada pela ISO.

Milanovic *et al.* (2020) avaliaram a porosidade dos cimentos BioRoot RCS, EndoSequence BC, MTA Fillapex e AH Plus. A porosidade do canal fornece potenciais concentradores de tensão que afetam de forma negativa as propriedades mecânicas do cimento. Devido à natureza hidráulica desses cimentos, é esperado que eles diminuam a porosidade inicial depois do seu armazenamento em ambiente oral, porém ainda não existem dados quanto a porosidade a longo prazo. Os resultados exibiram que AH Plus e MTA Fillapex tiveram diferenças significativas nas regiões coronal e média e AH Plus e BioRoot tiveram na região apical. Já os selantes MTA Fillapex, BioRoot, e EndoSequence BC tiveram diferenças não significativas na porosidade do cimento. Por fim, o MTA Fillapex foi maior do que o EndoSequence BC na região coronal. Concluíram então que o MTA Fillapex obteve uma porosidade um pouco maior quando comparado com os outros cimentos a base de silicato de cálcio.

Em uma pesquisa conduzida por Marciano *et al.* (2015), protótipos de cimentos a base de silicato de cálcio foram comparados ao MTA e MTA Fillapex com a finalidade de avaliar as propriedades físicas, hidratação, porosidade, pH e liberação de íons cálcio. Os cimentos experimentais exibiram hidratação adequada, pH e liberação de íons cálcio maiores que o MTA Fillapex. Foram necessárias grandes quantidades de radiopacificadores para alcançar uma radiopacidade adequada, semelhante ao MTA, e uma maior fluidez e diminuição da espessura da película de cimento. Os materiais testes apresentaram também alta sorção de água e alta porosidade.

Um estudo *in vitro* foi realizado por Zordan-Bronzel *et al.* (2021) com intuito de comparar as propriedades físico-químicas, citocompatibilidade e atividade antimicrobiana do cimento Sealer Plus BC em comparação aos cimentos TotalFill e AH Plus. Os resultados obtidos foram que ambos os materiais a base de silicato de cálcio apresentaram maior solubilidade e pH que o AH Plus. Quando comparado os dois cimentos a base de silicato de cálcio, o Sealer Plus BC apresenta menor tempo de presa, melhor fluxo por mm², menor solubilidade e sua vazão foi semelhante ao AH Plus. Concluíram que, embora Sealer Plus BC tenha apresentado maior

solubilidade, este cimento apresentou propriedades físico-químicas adequadas, citocompatibilidade e atividade antimicrobiana.

c) Biológicas

Monteiro *et al.* (2017) relataram o caso clínico de uma perfuração em região de furca selada com MTA após sete anos de acompanhamento. A paciente compareceu ao consultório com uma área radiolúcida localizada entre a raiz mesial e distal de um molar inferior que havia sido preenchida com pasta de hidróxido de cálcio. Diante disso, o profissional realizou a instrumentação e obturação dos canais radiculares, descontaminação da região perfurada e o selamento da mesma com MTA. Posteriormente, foi feita a restauração definitiva com cimento ionômero de vidro e resina composta. Após 7 anos, foi observado através de tomografia computadorizada o reparo ósseo da região, além de ausência dos sinais e sintomas, constatando um sucesso no tratamento. Sendo assim, o MTA apresentou um bom comportamento clínico na reparação de perfurações em furca a longo prazo.

Estrela *et al.* (2018) realizaram uma revisão de literatura com o objetivo de discutir as alternativas terapêuticas contemporâneas para o tratamento de perfurações de canais radiculares. O sucesso do selamento de perfurações está diretamente relacionado com o correto diagnóstico, selamento imediato, intensidade da agressão, controle da contaminação e extensão e localização da perfuração. Com base nos estudos incluídos, foram analisados três materiais para selar perfurações de acordo com suas propriedades biológicas, físico-químicas e antimicrobianas: Hidróxido de cálcio, Agregado Trióxido Mineral (MTA) e cimentos de silicato de cálcio. Os autores concluíram que o MTA é o material de escolha para o selamento de perfurações devido à capacidade de formação de tecido mineralizado e a melhor capacidade de vedamento, superiores aos outros materiais estudados.

Diante da importância das propriedades biológicas dos materiais que ficam em contato com os tecidos dentários, Cintra *et al.* (2017) realizaram um estudo *ex vivo* com o objetivo de analisar a citotoxicidade, biocompatibilidade e biomineralização do

MTA HP comparado ao MTA Angelus. As análises foram realizadas por meio de cultura dos fibroblastos de camundongos e foi possível observar uma maior viabilização celular no MTA HP em relação ao MTA Angelus nos três períodos de tempo avaliados. Histologicamente, ambos apresentaram uma reação inflamatória leve e cápsula fibrosa delgada após 30 dias. Diante disso, os autores concluíram que o MTA HP apresentou biocompatibilidade e biomineralização similar ao MTA Angelus, além de exibir maior viabilidade de fibroblastos após um período mais longo de tempo, o que pode ser justificado pela ausência do óxido de bismuto na nova composição.

4.4 Manipulação e Espatulação do MTA

Basturk *et al.* (2013) realizaram um estudo para avaliar o efeito da manipulação do MTA com espatulação manual e mecânica, além do efeito da agitação do material com pontas ultrassônicas na resistência a compressão.

O cimento é constituído por finas partículas hidrofílicas que tomam presa em contato com a umidade, por isso a manipulação do MTA deve ser feita corretamente para garantir as propriedades ideais, tais como consistência e resistência a compressão. O estudo foi realizado com cimentos de duas marcas diferentes (ProRoot MTA e MTA Angelus) e os dentes foram divididos em diferentes grupos misturados mecanicamente, manualmente, com agitação ultrassônica e sem agitação. Foi possível concluir que a resistência à compressão do ProRoot foi maior que o MTA Angelus e que independente do material utilizado, as amostras misturadas mecanicamente obtiveram melhores resultados que as misturadas manualmente. Em relação às técnicas de mistura, as que foram utilizadas pontas ultrassônicas também tiveram maior resistência.

4.5 Aplicações Clínicas

Torabinejad *et al.* (1999) realizaram um estudo observacional descritivo analisando as diferentes formas e indicações do MTA na endodontia. O objetivo do trabalho foi demonstrar o uso do cimento em diversas aplicações clínicas como a pulpectomia, capeamento pulpar, apicificações, reparo de perfurações radiculares

cirúrgicas e não cirúrgicas e retroobturações, levando em consideração a indicação do fabricante quanto ao uso adequado do produto. Sendo assim, foi possível concluir que o MTA consegue promover um vedamento adequado e também contribui para a regeneração do tecido pulpar, devido as suas propriedades físicas e biológicas favoráveis.

Roberts *et al.* (2008) analisaram a composição, propriedades, biocompatibilidade e os resultados clínicos envolvendo o uso do MTA na endodontia. Com base nos estudos incluídos, esses materiais são derivados do cimento de Portland e demonstraram ser biocompatíveis e capazes de formar hidroxiapatita. Além disso, possuem uma capacidade superior de selamento ao serem comparados com outros materiais e podem ser utilizados em diversas aplicações clínicas, como pulpotomia, selamento de perfurações, apicificação e apicigênese. O Cimento de Portland, apesar de ser seu precursor, não deve ser utilizado na prática endodôntica. As pesquisas em humanos são muito promissoras, mas os autores alegam a necessidade de maiores evidências científicas com estudos randomizados e duplo-cegos com períodos superiores de preservação.

Parirokh *et al.* (2010) também exibiram, através de uma revisão de literatura, que o MTA é um cimento indicado para retrobturação, reparação de perfurações, terapia pulpar em dentes vitais e plug apical em apicificações. Apesar da enorme quantidade de casos clínicos publicados, existem poucos estudos a respeito de suas aplicações. Algumas características indesejáveis do material foram observadas, como longo tempo de presa, preço alto e potencial de descoloração dentária. Por outro lado, os cristais de hidroxiapatita formados em contato com o cimento e o tecido podem auxiliar na formação de estruturas mineralizadas. Os autores concluíram que o MTA é o material de escolha em determinadas situações clínicas, além de ser biocompatível, bioativo e ser capaz de induzir osteogênese e cementogênese.

Prati e Gandolfi (2015), realizaram uma revisão dos trabalhos mais relevantes publicados nos últimos anos sobre cimentos hidráulicos a base de silicato de cálcio com o objetivo de apresentar e avaliar a evolução da pesquisa sobre o tema. Os autores evidenciaram as principais características dos cimentos como a capacidade de selamento e fixação em ambiente úmido, indução da formação de apatita,

atividade antimicrobiana, biocompatibilidade, bem como suas limitações. As propriedades indesejáveis foram ao longo do tempo sendo melhoradas devido a incorporação de outros elementos. Com estas melhorias aumentaram as aplicações clínicas dos cimentos como selamento de perfuração radicular, obturação de SCR, capeamento pulpare diretos e indiretos, restauração de dentes, apicificação, entre outros.

4.6 Cimentos Obturadores

Com a introdução dos cimentos à base de silicato de cálcio obturadores, Mc Michael *et al.* (2016) realizaram um estudo para mensurar a penetração desses materiais no interior dos túbulos dentinários nas técnicas de obturação com cone único e ondas contínuas. Dessa forma, 80 dentes extraídos foram distribuídos em 8 grupos e obturados com diferentes biocerâmicos associados a um corante. Após as análises no microscópio de laser confocal, foi possível observar que eles penetraram em até 2mm de profundidade nas duas técnicas de obturação. O MTA Fillapex, cimento resinoso com partículas de MTA, penetrou melhor nos túbulos na técnica de ondas contínuas e obteve o menor índice de penetração na técnica do cone único. Foi possível concluir então que ambas as técnicas de obturação estão associadas à penetração dos cimentos BC Sealer, QuickSet e NeoMTA Plus no interior dos túbulos.

JI HYUNG *et al.* (2022) realizaram um estudo, através de um ensaio clínico randomizado com o objetivo de comparar a eficácia clínica e o resultado de técnicas de obturações utilizando cimentos de silicato de cálcio e cimento à base de resina. Para isso, foram selecionados 74 dentes, divididos em dois grupos, obturados um com cimento de silicato de cálcio e cimento resinoso. Foram avaliados, posteriormente, nível de dor pós operatória, qualidade da obturação e cicatrização periapical. As maiores taxas de sucesso se mostraram em dentes que foram obturados com cimentos biocerâmicos. Entretanto, os autores concluíram que mais estudos com maiores amostras são necessários para melhor confiabilidade.

5 DISCUSSÃO

5.1 Aplicações e Indicações

Torabinejad *et al.* (1999), Parirokh *et al.* (2010) e Prati e Gandolfi (2015) relataram que apesar de vários artigos publicados, ainda existem poucos estudos a respeito de suas aplicações clínicas utilizando o MTA. Os autores descrevem que o cimento é ideal para capeamento de polpas, apicificações, reparo tecidual sendo elas cirúrgicas ou não cirúrgicas, pulpectomias, capeamento pulpar, obturações e retrobturações, bem como também a sua capacidade de presa em ambientes úmidos, formação de apatita, atividade antimicrobiana, biocompatibilidade com tecidos perirradiculares. Apesar das inúmeras vantagens, o produto também possui algumas desvantagens quanto ao seu uso. Prati e Gandolfi (2015) evidenciaram que ao longo do tempo, suas propriedades foram sendo melhoradas, como a introdução de plastificante, tungstato de cálcio e óxido de zircônia que foram capazes de melhorar a sua radiopacidade e manipulação. As modificações foram essenciais para aumentar as aplicações clínicas, a partir daí, o cimento também começou a ser utilizado como selamento de perfurações e obturações do sistema de canais radiculares.

5.2 Solubilidade e Porosidade

Durante os anos de 2003 até 2020, ocorreram diversos estudos para avaliar a solubilidade e porosidade do MTA, utilizando variadas formulações lançadas no mercado. Segundo Fridland *et al.* (2003) o cálcio era o principal composto químico presente no pó com o pH altamente alcalino, podendo ser o grande responsável na indução de mineralização do MTA. Os autores observaram que o grau de solubilidade e porosidade aumentavam à medida que a quantidade de pó ficava maior. Milanovic *et al.* (2020) compararam o BioRoot RCS, EndoSequence BC, MTA Fillapex e AH Plus com o objetivo de verificar os efeitos a longo prazo do armazenamento do cimento em fluidos corporais. Devido à natureza hidráulica desses cimentos, é esperado que eles diminuam a porosidade inicial depois do seu armazenamento em ambiente oral. Os autores concluíram que o MTA Fillapex obteve uma porosidade um pouco maior quando comparado com os outros cimentos a base de silicato de cálcio.

Basturk *et al.* (2013) avaliaram o efeito da manipulação do MTA utilizando a espatulação manual e mecânica para determinar a resistência a compressão do material utilizando o ProRoot MTA e MTA Angelus. O estudo determinou que a resistência do ProRoot foi maior do que o do MTA Angelus e que os materiais que foram misturados mecanicamente tiveram melhores resultados do que aqueles que foram misturados manualmente. Em contrapartida, em relação as técnicas de mistura, os que foram utilizadas pontas ultrassônicas tiveram maior resistência.

5.3 Selamento/vedamento de perfurações

Vários estudos relataram o uso de MTA em perfurações radiculares. Todos os resultados exibiram uma menor infiltração marginal, consolidando seu uso para esta terapia. Lee *et al.* (1993) e Torabinejad *et al.* (1993) compararam *in vitro* a capacidade de selamento de perfuração radicular de três diferentes materiais: MTA, amálgama e cimento a base de óxido de zinco e eugenol. Em ambas as pesquisas o MTA apresentou um selamento radicular superior, devido a suas vantagens em relação aos outros materiais, como a facilidade de manipulação e inserção, a possibilidade de uso em ambiente úmido e a facilidade de remoção de excessos. Entretanto, Torabinejad *et al.* (1993) ressaltam seu longo tempo de presa como uma desvantagem do seu uso. Desde a década de 1990, quando o MTA foi introduzido na odontologia, novos cimentos biocerâmicos foram lançados comercialmente com composição semelhante, porém com propriedades superiores. Estrela *et al.* (2018) acreditam que a capacidade de selamento dos biocerâmicos se deve a interação físico-química do cimento ao meio onde se é depositado. Esta propriedade dos biocerâmicos, é descrita por Dawood *et al.* (2015), como resultado da sua “interação com a dentina e da formação de uma zona intermediária mineralizada, com estruturas semelhantes a etiquetas que se estendem até os túbulos dentinários e, portanto, atuam como uma âncora micromecânica à dentina”, e acrescenta a expansão de presa como outra característica responsável pela boa capacidade seladora destes cimentos.

Perfurações de assoalho de câmara pulpar possuem prognóstico duvidoso e por muitos anos o único tratamento disponível era a exodontia. A terapia utilizando

materiais a base de silicato de cálcio deu outras expectativas aos dentes que antes seriam condenados. Em um estudo realizado por Hashem *et al.* (2008) onde se compara diferentes materiais no tratamento de perfuração de furca, os autores relatam que o ProRoot MTA possui excelente capacidade de vedação, podendo ser usado com ou sem matriz. Já o MTA Angelus possui um melhor desempenho quando utilizado com matriz. Estes dois cimentos se mostraram bem superiores quando comparados com o tratamento com IRM. Comprovando estes resultados com seu relato de caso, Monteiro *et al.* (2017), descreve uma perfuração de furca que foi reparada com MTA Angelus, e mesmo sem utilizar matriz interna, obtiveram resultados clínicos satisfatórios a longo prazo. Segundo Dawood *et al.* (2015), os novos cimentos que foram introduzidos no mercado para superar as deficiências do MTA necessitam de mais pesquisas, já que a escolha do material depende do local de inserção e propriedades físico-químicas.

5.4 MTA Branco x Cinza

Inicialmente, o MTA cinza era comercializado, porém por questões estéticas uma versão branca tornou-se disponível. Camilleri *et al.* (2005) observaram em seu estudo que as duas variações do MTA são semelhantes ao cimento de Portland, porém com a presença de óxido de bismuto para torná-los radiopacos. Estes cimentos são compostos principalmente por silicato tricálcico e silicato dicálcico, e possivelmente, pequenas quantidades de aluminato tricálcico e aluminoferrita tetracálcico. Os autores declararam que a diferença entre as duas versões do MTA se dá pela remoção do composto ferro no MTA branco e por apresentar menores partículas facilitando o seu manuseio quando comparado a versão cinza. Asgary *et al.* (2005) acrescentaram ainda que há a presença consideravelmente mais baixa dos óxidos carborundum (Al_2O_3), periclase (MgO) e especialmente o FeO no MTA branco. Entretanto, reforça a opinião de Camilleri *et al.* (2005) que é possível que a ausência significativa de FeO seja o que causa a mudança de cor de cinza para branco.

5.5 Bioatividade

Dreger *et al.* (2012) descreveram a bioatividade como sendo uma propriedade vantajosa de um material incorporado ao tecido vivo, onde ocorrem reações bioquímicas e biofísicas na interface material-tecido, resultando na formação de uma camada de apatita carbonatada. Em seu estudo ele comprova que os cimentos MTA Branco, MTA BIO, cimento Portland branco + 20% de óxido de bismuto e cimento Portland + 10% de cloreto de cálcio são bioativos, embora a velocidade e a intensidade de deposição mineral na interface dentina-cimento tenha variação entre os materiais.

5.6 Propriedades

Camilleri *et al.* (2006) realizaram uma revisão de literatura sobre os constituintes e a biocompatibilidade do MTA, onde constataram que o MTA é um material biocompatível à base de silicato de cálcio. Roberts *et al.* (2008) e Primus *et al.* (2019) avaliaram o uso do MTA em endodontia com o objetivo de analisar e revisar a composição, propriedades, biocompatibilidade e resultados com o uso do cimento. Ambos os autores afirmaram que o cimento se trata de um material biocompatível que possui a capacidade de estimular a formação de tecido duro, com boa capacidade de selamento, podendo ser utilizado em diversas situações clínicas.

Prati *et al.* (2015), Orange *et al.* (2017), Duarte *et al.* (2018) e Giacomino *et al.* (2019) dissertaram também sobre as propriedades do MTA e concordaram que se trata de um material que possui características desejáveis como alcalinidade, boa capacidade de selamento, insolubilidade, radiopacidade adequada, biocompatibilidade, bioatividade e hidrofília. Essas propriedades permitem que o MTA seja utilizado em casos clínicos tais como selamento de perfurações, capeamentos pulpares direto e indireto, restaurações e apicificações.

Prati *et al.* (2015) e Marciano *et al.* (2015) relataram que o grande responsável pelo escurecimento dos dentes após o tratamento endodôntico seria o óxido de bismuto, que é um radiopacificador presente na composição do cimento. Os autores concordaram que para resolver esse problema teriam que utilizar um radiopacificador alternativo, como o tungstato de cálcio.

Cintra *et al.* (2017) e Galarça (2018) compararam o MTA HP e o MTA Angelus e concluíram que as diferenças estão na manipulação do produto, sendo o MTA HP de mais fácil manipulação. Outras características com relação a biocompatibilidade, biomineralização, tempo de presa e resistência a compressão se mostraram adequadas e semelhantes.

Com relação aos cimentos obturadores biocerâmicos, Zordan *et al.* (2019) e Zordan *et al.* (2021) compararam as propriedades do Bio-C Sealer, TotalFill BC Sealer ao cimento resinoso AH Plus e concluíram que os biocerâmicos apresentaram menor tempo de presa, menor radiopacidade, maior solubilidade, maior escoamento e maior alteração de volume quando comparados com o AH Plus, sendo este, considerado padrão ouro. Entretanto, os autores também afirmam que, apesar de os biocerâmicos apresentarem algumas propriedades inferiores ao cimento resinoso, estes cimentos apresentam propriedades físico-químicas, citocompatibilidade e atividade antimicrobiana adequadas.

Silva *et al.* (2020) também compararam os biocerâmicos com os cimentos resinosos e concluíram que ambos se mostraram biocompatíveis. Porém, somente os biocerâmicos apresentaram potencial bioativo. Na mesma linha de comparação entre biocerâmicos e resinosos, Jafari *et al.* (2017) avaliaram o potencial genotóxico do biocerâmico MTA Fillapex e o cimento resinoso AH Plus, constatando que o AH Plus apresentou maior genotoxicidade e morte celular quando em contato com o tecido periodontal.

JI HYUNG *et al.* (2022), descreve a obturação do SCR com cimento a base de silicato de cálcio como sendo uma alternativa a obturação com cimento AH Plus. No estudo realizado por Michael *et al.* (2016), os autores não observaram diferença significativa na penetração nos túbulos dentinários dos cimentos a base de silicato de cálcio (BC Sealer, QuickSet2 e NeoMTA Plus), quando comparada as técnicas de obturação de cone único e ondas contínuas. Já o MTA Fillapex penetrou melhor nos túbulos na técnica de ondas contínuas. Eles ressaltaram que quanto menor a partícula do cimento, mais profundamente ele penetra no túbulo dentinário.

7. CONCLUSÃO

Ao longo dos anos, diversos estudos têm sido apresentados quanto ao uso dos cimentos biocerâmicos na endodontia. Nos últimos anos, ocorreram alterações em sua composição, resultando em troca de radiopacificadores, possibilitando seu uso em áreas estéticas, bem como também a adição de plastificadores e a diminuição no tamanho de suas partículas, proporcionando uma fácil manipulação do cimento e diminuindo também o seu tempo de presa. Através desses estudos, é comprovado que o MTA é um material bioativo, biocompatível e possui excelentes propriedades físicas, químicas e biológicas, portanto, são capazes de serem aplicados em diferentes situações clínicas.

REFERÊNCIAS

LEE, S.J.; MONSEF, M.; TORABINEJAD, M. Sealing Ability of a Mineral Trioxide Aggregate for Repair of Lateral Root Perforations. **J. Endod**, v.19, n.11, p.541-544, Nov.1993.

TORABINEJAD, M.; WATSON, T.F.; PITT FORD, T.R. Sealing Ability of a Mineral Trioxide Aggregate When Used As a Root End Filling Material. **J. Endod**, v.19, n.12, p.591-595, Dez.1993.

TORABINEJAD, M.; CHIVIAN, N. Clinical Applications of Mineral Trioxide Aggregate. **J. Endod**, v.25, n.3, p.197-205, Mar.1999.

FRIDLAND, M.; ROSADO, R. Mineral Trioxide Aggregate (MTA) Solubility and Porosity with Different Water- -Powder Ratios. **J. Endod**, v.29, n.12, p.814-817, Dez 2003.

CAMILLERI, J. *et al.* The constitution of mineral trioxide aggregate. **Dent. Materials**, v. 21, n.4, p.297-303, Abr 2005.

ASGARY, S. *et al.* Chemical Differences Between White and Gray Mineral Trioxide Aggregate. **J. Endod**, v.31, n.2, p.101-103, Fev 2005.

ROBERTS, H. W. *et al.* Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: A review of the literature. **Dent. Materials**, v.24, n.2, p.149-164. Feb. 2008.

CAMILLERI, J.; FORD, T.R.P. Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. **J. Endod**, v. 39, n.10, p.747-754, Oct 2006.

HASHEM, A.A.R.; HASSANIEN, E.E. ProRoot MTA, MTA-Angelus and IRM Used to Repair Large Furcation Perforations: Sealability Study. **J. Endod**, v.34, n.1, p.59-61, Jan. 2008.

PARIROKH, M.; TORABINEJAD, M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part III: Clinical Applications, Drawbacks, and Mechanism of Action. **J. Endod**, v.36, n.3, p.400-413, Mar 2010.

DREGER, L.A.S. *et al.* Mineral Trioxide Aggregate and Portland Cement Promote Biomineralization In Vivo. **J. Endod**, v. 38, n.2, p.324-329, Mar. 2012.

BASTURK, F.B. *et al.* The Effect of Various Mixing and Placement Techniques on the Compressive Strength of Mineral Trioxide Aggregate. **J. Endod**, v.39, n.1, p.111-114, Jan 2013.

MARCIANO, M.A. *et al.* Assessment of Color Stability of White Mineral Trioxide Aggregate Angelus and Bismuth Oxide in Contact with Tooth Structure. **J. Endod**, v.40, n.8, p.1235-1240, Ago 2014.

PRATI.C.; GANDOLFI.M.G.; Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. **Dent. Materials**. v.31,n.4, p.351-370, Abr 2015.

DAWOOD, A.E. *et al.* Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. **Journal of Investigative and Clinical Dentistry**, v.8, n.2, p. 1-15, Ago 2015.

MARCIANO. M.A.; DUARTE.M.A.H.;CAMILLERI.J.; Calcium silicate-based sealers: Assessment of physicochemical properties, porosity and hydration. **Dent. Materials**. v.32, n.2, p.30-40, Nov 2015.

MCMICHAEL, G.E.; PRIMUS, C.M.; OPPERMAN, L.A. Dentinal Tubule Penetration of Tricalcium Silicate Sealers. **J. Endod**, v.45, n.4, p.632-636, Abr 2016.

SAGHIRI.M.A. *et al.* Calcium silicate-based cements and functional impacts of various constituents. **Dent. Materials**. v. 36. n.1, p.8-18, Jul 2016.

CINTRA, L.T.A. *et al.* Cytotoxicity, Biocompatibility and Biomineralization of the New High-plasticity MTA Material. **J. Endod**, v.43, n.5, p.774-778, Mai 2017.

JAFARI.F.; JAFARI .S.; ETESAMNIA. P.; Genotoxicity, Bioactivity and Clinical Properties of Calcium Silicate Based Sealers: A Literature Review. **Iranian J. Endod**, v.12, n.4, p. 407-413, Set 2017.

MONTEIRO, J.C.D.C. *et al.* Repair of Iatrogenic Furcal Perforation with Mineral Trioxide Aggregate: A Seven-Year Follow-up. **Iranian J. Endod**, v.12, n.4, p.516-520, Out. 2017.

DUARTE, M.A.H. *et al.* Tricalcium silicate-based cements: properties and modifications. **Braz. Oral Res**, v. 32, n.70, p.111-118, Jun 2018.

ESTRELA.C. *et al.* Root perforations: a review of diagnosis, prognosis and materials. **Braz. Oral Res**. v.32, n.1, p.1807-3107, Out 2018.

DONNERMEYER. D. *et al.* Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. **Odontology**. v.107. n.4. p.421-436. Nov 2018.

GALARÇA, A.D. *et al.* Physical and Biological Properties of a High-Plasticity Tricalcium Silicate Cement. **BioMed Research International**, v.10, n.1, p.1-6, Nov 2018.

GIACOMINO, C.M. *et al.* Comparative Biocompatibility and Osteogenic Potential of Two Bioceramic Sealers. **J.Endod**, v.45, n.1, p.51-56, Jan 2019.

PRIMUS, C.M.; TAY, F.R.; NIU,L.; Bioactive tri/dicalcium silicate cements for treatment of pulpal and periapical tissues. **Acta Biomaterialia**, v.96, n1, p.35-54, Set 2019.

ZORDAN-BRONZEL,C, L. *et al.* Evaluation of Physicochemical Properties of a New Calcium Silicate–based Sealer, Bio-C Sealer. **J. Endod**, v.45, n.10, p.1248-1252, Out 2019.

MILANOVIC. I. *et al.* Immediate and Long-Term Porosity of Calcium Silicate–Based Sealers. **J. Endod**, v.46, n.4. p. 515-523, Abr 2020.

SILVA, E.C.A. *et al.* Biocompatibility and Bioactive Potential of New Calcium Silicate–based Endodontic Sealers: Bio-C Sealer and Sealer Plus BC. **J.Endod**, v.46, n.10, p. 1470-1477, Out 2020.

BRONZEL.C.L.Z. *et al.* Physicochemical Properties, Cytocompatibility and Antibiofilm Activity of a New Calcium Silicate Sealer. **Braz. Dent. Journal**. v.32, n.4, p.8-18, Jan 2021.

KIM. J-H. *et al.* Clinical Efficacy of Sealer-based Obturation Using Calcium Silicate Sealers: A Randomized Clinical Trial. **J. Endod**, v.48.n.2, p.144-151, Fev 2022.

