

UNIVERSIDADE DO PLANALTO CATARINENSE

**GABRIELE BUENO ANDREATTA
RAFAELLA BERNART MARCON**

**PROPRIEDADES BIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE CIMENTOS
ENDODÔNTICOS NANOPARTICULADOS**

**LAGES
2022**

UNIVERSIDADE DO PLANALTO CATARINENSE

**GABRIELE BUENO ANDREATA
RAFAELLA BERNART MARCON**

**PROPRIEDADES BIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE CIMENTOS
ENDODÔNTICOS NANOPARTICULADOS**

Trabalho de Curso apresentado para o módulo de Trabalho de Curso do 9º semestre do Curso de Odontologia da Universidade do Planalto Catarinense, como pré-requisito para a conclusão do curso.

Orientadora: Profa. Dra. Anelise Viapiana Masiero
Coorientadora: Profa. Dra. Cleonice Gonçalves da Rosa.

**LAGES
2022**

UNIVERSIDADE DO PLANALTO CATARINENSE

**GABRIELE BUENO ANDREATTA
RAFAELLA BERNART MARCON**

**PROPRIEDADES BIOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DE CIMENTOS
ENDODÔNTICOS NANOPARTICULADOS**

Trabalho de Curso apresentado para o módulo de Trabalho de Curso do 9º semestre do Curso de Odontologia da Universidade do Planalto Catarinense, como pré-requisito para a conclusão do curso.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Profa. Anelise Viapiana Masiero (orientadora) _____

Profa. Cleonice Gonçalves da Rosa (coorientadora) _____

Profa. Msc. Isabela França de Almeida Ramos _____

Profa. Esp. Francinne Bianchini Ampessan _____

**LAGES
2022**

Dedico esse trabalho a todos que acreditaram,
e contribuíram direta ou indiretamente
em minha formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que nos acompanharam no decorrer desta jornada acadêmica.

Primeiramente a Deus, por nos permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados, a nossa família e nossos companheiros por todo suporte emocional, que sempre nos apoiaram nos estudos, nas horas mais difíceis e nas nossas escolhas.

À orientadora Anelise Viapiana Masiero e a coorientadora Cleonice Gonçalves da Rosa, que tiveram papel fundamental na correção e elaboração desse trabalho.

" Todos os nossos sonhos podem se tornar realidade se tivermos a coragem de persegui-los."
– WALT DISNEY.

RESUMO

A escolha de um excelente cimento obturador para a sanificação dos canais radiculares é de suma importância a fim de selar hermeticamente o sistema de canais radiculares. Para tanto deve apresentar inúmeras propriedades, com destaque para adequadas propriedades físico-químicas e biológicas. Recentemente as nanopartículas tem sido propostas para serem incorporadas aos cimentos endodônticos, justamente para aprimorar tais propriedades. Assim o objetivo do presente estudo foi avaliar as propriedades biológicas e físico-químicas dos cimentos endodônticos nanoparticulados. A busca de dados foi realizada nas bases Science Direct e Pubmed no mês de setembro de 2021 utilizando os descritores: “Endodontic Sealer” AND “Nanoparticles”. Considerou-se como critérios de inclusão: artigos científicos que avaliassem as propriedades antimicrobianas, citotóxicas e físico-químicas de cimentos endodônticos nanoparticulados, publicados nos últimos 5 anos, escritos em idioma inglês e que possuíssem acesso online. Inicialmente foram encontradas 83 publicações potencialmente elegíveis, após a leitura apenas 15 foram selecionados. Na análise dos resultados observou-se que todos os estudos selecionados se caracterizam por estudos *in vitro*, com uma diversidade de nanopartículas testadas. Quanto aos cimentos testados destacam-se MTA, AH Plus Pulp Canal Sealer, Cimento de Silicato de Cálcio, Sealer 26, Endometasona Endosequence, Sealapex, Tubliseal. Em relação a efetividade antimicrobiana, o microrganismo mais testado foi o *Enterococcus Faecalis*, seguido de biofilmes multiespécies. Na análise da citotoxicidade há uma divergência de resultados, enquanto alguns relatam que as nanopartículas atingiram níveis dentro da segurança, em outros houve aumento da citotoxicidade. Por fim, na avaliação das propriedades físico-químicas observou-se que em geral as propriedades dos cimentos modificados com as nanopartículas foram similares às dos materiais comercializados, sem alteração da composição principal e mantendo as especificações das normas ISO. A incorporação das nanopartículas com o propósito de aprimorar as propriedades biológicas e físico-químicas dos cimentos obturadores tem se mostrado promissora e novos estudos que avaliem a aplicabilidade clínica devem ser realizados.

Palavras-chave: Cimentos endodônticos. Nanopartículas. Endodontia. Propriedades físico-químicas. Propriedades Biológicas.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Ag: Símbolo químico da prata deriva do latim argentum
AgNPs: Nanopartículas de prata
AgVO: Vanadato incorporado à nanopartículas de prata
A. naeslundii: Actinomyces Naeslundii
BaSO₄: Sulfato de bário
BG: Vidro bioativo
BN: Nitreto de boro
β-TCP: Beta-tricálcio fosfato
CA: Cálcio
CAC: Cimentos de aluminato de cálcio
C3A: Aluminato de cálcio
Chx: Clorexidina
CsNPs: Nanopartículas de Quitosana
DMAHDM: Dimetilaminohexadecil metacrilato
EDTA: Ácido etilenodiaminotetracético
E. faecalis: Enterococcus Faecalis
F. nucleatum: Fusobacterium Nucleatum
Et al.: Et alli sigla em latim para colaboradores
HA: Hidroxiapatita
ISO: International Standard Organization
MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura
MPC: Metacrilóiloxietil fosforilcolina
MTA: Cimento à base de agregado de trióxido mineral
MWCNTs: Nanotubos de carbono de paredes múltiplas
NAC: N-Acetilcisteína
NACP: Nanopartículas de fosfato de cálcio
NAG: Nanoprata
Nm: Nanômetro
NPs: Nanopartículas poliméricas
P: Símbolo químico do Fosfato
PCS: Pulp Canal Sealer
PS: Solução de Fosfato
PLGA: Nanopartículas poliméricas carregadas com própolis egípcio
ProE: Própolis egípcio
SA: Alginato de sódio
SBF: Fluido corporal simulado
SRB: Sulforhodamina
SYTO 9: Coloração de ácido nucleico fluorescente verde que cora bactérias
TC: Carboneto de titânio
UFC: Unidades formadoras de colônia
Zn: Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
2. PROPOSIÇÃO	11
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 Obturação do sistema de canais radiculares e sua relação com o sucesso endodôntico	12
3.2 Aplicação das nanopartículas na endodontia	14
3.3 Propriedades biológicas e físico-químicas das nanopartículas associadas a cimentos endodônticos obturadores	16
4. METODOLOGIA	18
5. RESULTADOS	19
6. DISCUSSÃO	30
7. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

Selar o sistema de canais radiculares é uma das chaves para o sucesso da terapia do canal radicular. As principais funções do cimento endodôntico é selar os espaços vazios entre as paredes do canal radicular, incorporando bactérias residuais e preenchendo irregularidades do sistema de canais radiculares, incluindo pequenos canais e istmo (HUANG et al., 2021).

Dentre os critérios para um cimento ideal pode-se citar: biocompatibilidade, baixa contração, baixo tempo de presa, adesividade, radiopacidade, ausência de coloração, insolubilidade aos fluidos orais e teciduais, propriedades bacteriostáticas e capacidade de selamento (HUANG et al., 2021). No entanto, selantes convencionais de canal à base de óxido de zinco eugenol, hidróxido de cálcio ou resinas, podem apresentar problemas de selamento devido à solubilidade ou contração de polimerização após a presa e, portanto, levar a microinfiltração (HUANG et al., 2021). Além disso, os cimentos endodônticos tradicionais não promovem a regeneração tecidual ou até mesmo irritam a inflamação dos tecidos periapicais (HUANG et al., 2021).

Durante a instrumentação dos canais radiculares a ação conjunta dos instrumentos e das substâncias químicas irrigadoras tem por objetivo a sanificação do sistema de canais radiculares. Entretanto, muitas vezes as infecções persistem depois do tratamento. Entre os microrganismos mais relacionados a estas infecções destaca-se o *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), um gram-positivo e anaeróbico facultativo, com detecção de taxa entre 23-77% em casos de insucesso no tratamento endodôntico (BARAS et al., 2019).

Neste contexto, a utilização de um cimento obturador que além das propriedades físico-químicas ideais, pudesse apresentar ação antimicrobiana potente poderia contribuir para aprisionar bactérias residuais, garantindo o sucesso da terapia endodôntica primária e prevenir infecções endodônticas secundárias (BARAS et al., 2019). Nestes casos, o objetivo é que material obturador possa escoar para pequenas fendas nas paredes do canal que são de difícil acesso (BARAS et al., 2019).

A maioria dos cimentos de canal radicular mostra leve poder antimicrobiano, principalmente devido à liberação de alguns dos seus componentes que podem ter efeitos tóxicos sobre as bactérias como óxido de zinco e eugenol e paraformaldeído. No entanto, à medida que os selantes endurecem, suas propriedades antimicrobianas diminuem (BARAS et al., 2019).

Muitos materiais são atualmente usados como cimentos de canal radicular, incluindo óxido de zinco-eugenol, hidróxido de cálcio, ionômero de vidro, silicone, resinas poliméricas

e mais recentemente, silicato de cálcio (ALMEIDA et al., 2018). Embora nenhum material reúna todas as características desejadas, novos seladores de canal estão sendo constantemente desenvolvidos na tentativa de melhorar suas propriedades físicas, químicas e biológicas. A capacidade de induzir a deposição de tecido mineralizado, biocompatibilidade e propriedades antimicrobianas estão entre os maiores desafios endodônticos (ALMEIDA et al., 2018).

A nanotecnologia é a criação de novas substâncias a partir dos átomos. O objetivo é criar estruturas mais estáveis e melhoradas a partir de sua forma inicial. As nanopartículas tem tamanho entre 1 e 100 nanômetros. Ela apresenta capacidade de criar materiais mais fortes, finos e duráveis, além de ser bastante usada em diversas áreas da tecnologia e em estudos da física, química, biologia e medicina. Com o objetivo de melhorar a eficácia desses materiais, a adição de diferentes agentes antimicrobianos tem sido sugerida (CARVALHO et al., 2021). A adição de nanopartículas (NP) aos cimentos endodônticos foi testada principalmente no que diz respeito à redução da penetração bacteriana e ao aumento da atividade antibacteriana nos túbulos dentinários e a substantividade dos cimentos (CARVALHO et al., 2021).

2. PROPOSIÇÃO

O presente estudo teve por objetivo avaliar por meio de revisão de literatura as propriedades biológicas e físico-químicas de cimentos endodônticos nanoparticulados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O objetivo final do tratamento endodôntico é eliminar a infecção bacteriana do sistema de canais radiculares, evitando que microrganismos prejudiquem a cicatrização periapical ou mesmo contribuindo para o desenvolvimento de lesões apicais (WANG et al., 2017). No entanto, a incapacidade de desinfetar o sistema de canais radiculares leva à falha ou à patologia apical persistente (WANG et al., 2017). A presente revisão tem por objetivo apresentar os diferentes tipos de cimentos endodônticos e suas propriedades biológicas e físico-químicas. A nanotecnologia e nanopartículas, associadas a cimentos endodônticos convencionais têm sido usadas para criação de cimentos endodônticos mais satisfatórios.

3.1 Obturação do Sistema de Canais radiculares e sua relação com o sucesso endodôntico

O sucesso do tratamento endodôntico depende do selamento do sistema de canais radiculares (HUANG et al., 2021). Os critérios para um cimento ideal são biocompatibilidade, estabilidade dimensional, baixo tempo de presa, adesividade, radiopacidade, ausência de coloração, insolubilidade aos fluídos orais e teciduais, propriedades bacteriostáticas e capacidade de selamento (HUANG et al., 2021).

No entanto os cimentos endodônticos convencionais a base de óxido de zinco e eugenol, hidróxido de cálcio ou resinas podem apresentar problemas de vedação devido a solubilidade ou contração de polimerização após a presa e, portanto, levar a microinfiltração (HUANG et al., 2021). Além disso não promove a regeneração tecidual e provoca a inflamação dos tecidos (HUANG et al., 2021).

Muitos materiais são atualmente usados como cimentos de canal radicular, incluindo óxido de zinco e eugenol, hidróxido de cálcio, ionômero de vidro, silicone, resinas poliméricas e mais recentemente, silicato de cálcio (ALMEIDA et al., 2018). Embora nenhum material pudesse reunir todas as características desejadas, novos cimentos de canal estão sendo constantemente desenvolvidos na tentativa de melhorar suas propriedades físicas, químicas e biológicas (ALMEIDA et al., 2018).

A capacidade de induzir a deposição de tecido mineralizado, biocompatibilidade e propriedades antimicrobianas estão entre os maiores desafios endodônticos (ALMEIDA et al.,

2018). Cimentos à base de silicato de cálcio, como cimentos à base de agregado de trióxido mineral (MTA), foram introduzidos na tentativa de combinar o biológico e propriedades seladoras. (ALMEIDA et al., 2018). No entanto, os cimentos à base de MTA demonstraram valores de pH mais baixos do que outros materiais, com um severo efeito citotóxico e efeitos inflamatórios intensos sobre o osso e o tecido conjuntivo subcutâneo (ALMEIDA et al., 2018).

A biocerâmica, um tipo de biomaterial, foi introduzida para a obturação de canais radiculares devido a sua boa bioatividade, para satisfazer a biocompatibilidade e acelerar a regeneração do tecido periapical (HUANG et al., 2021). Outra vantagem da biocerâmica é que ela promove a formação de hidroxiapatita (HA), facilitando uma ligação entre a dentina e o material do núcleo após a presa (HUANG et al., 2021). Dentre os materiais biocerâmicos, o vidro bioativo (BG) que é composto de óxido de silício, óxido de cálcio e pentóxido de fósforo, tem maior potencial de bioatividade em comparação a outros materiais biocerâmicos (HUANG et al., 2021).

Com os avanços da tecnologia de preparação de materiais, a bioatividade do BG foi melhorada ao longo do tempo (HUANG et al., 2021). Recentemente, o BG foi aplicado em cimento modificado por vidro nano-bioativo fluoretado o qual mostrou melhor capacidade de selamento e força de adesão (HUANG et al., 2021).

Os cimentos de aluminato de cálcio (CAC) têm sido usados na odontologia com sucesso em uma variedade de aplicações por mais de um século (COLOVIC et al., 2019). Eles oferecem diversas vantagens em relação aos cimentos de silicato de cálcio, incluindo rápido desenvolvimento de resistência com o tempo de presa personalizável ajustado com dosagem adequada da mistura de aditivos, resistência a altas temperaturas, melhor resistência à abrasão e melhor resistência a ambientes agressivos (COLOVIC et al., 2019). É uma exclusividade do cimento de aluminato de cálcio que o processo de hidratação pode resultar na formação de hidratos estáveis, hidratos metaestáveis e comumente uma mistura entre esses dois (COLOVIC et al., 2019).

Recentemente um cimento endodôntico a base de aluminato de cálcio em combinação com carbonato de cálcio (calcita) e sulfato de bário ($BaSO_4$) foi proposto por (COLOVIC et al., 2019). A calcita foi adicionada à mistura como carga ou agregado (COLOVIC et al. 2019). Como se sabe, os agregados são partículas de granulometria multimodais que proporcionam um melhor empacotamento das partículas dentro da mistura e, posteriormente, melhores propriedades mecânicas (COLOVIC et al., 2019). A síntese do cimento de aluminato de cálcio (CAC) por combinação do método sol gel em método de

refluxo e hidrotermal permitiu sua nanoestrutura específica que ainda forneceu propriedades mecânicas satisfatórias do produto final (COLOVIC et al., 2019).

O objetivo deste estudo foi sintetizar partículas de aluminato de cálcio C3A com ou sem prata Ag e investigar seus efeitos nas propriedades físico-químicas e biológicas de um cimento endodôntico à base de MTA (COLOVIC et al., 2019). Outros cimentos convencionais foram testados para comparação (COLOVIC et al., 2019). A hipótese testada foi que a incorporação de C3A + Ag melhoraria a liberação de íons Ca^{2+} além de conferir propriedades antibiofilme a um cimento à base de agregado de trióxido mineral (MTA) sem efeitos drásticos em outras propriedades (COLOVIC et al., 2019).

3.2 Aplicação das nanopartículas na Endodontia

As nanopartículas são partículas que medem entre 1 a 100 nanômetros. A incorporação de nanopartículas na odontologia tem sido usada para melhorar e aprimorar diversos materiais, enriquecendo suas propriedades químicas e mecânicas. Os cimentos de canal radicular devem ter propriedades antimicrobianas para maximizar a eliminação de microrganismos duradouros após os procedimentos químicos e mecânicos (CARVALHO et al., 2021). A adição de nanopartículas (NP) aos cimentos endodônticos foi testada principalmente no que diz respeito à redução da penetração bacteriana e ao aumento da atividade antibacteriana nos túbulos dentinários e a substantividade dos cimentos (CARVALHO et al., 2021).

Baras et al., (2019) avaliaram nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) incorporadas em cimento à base de resina epóxi AH Plus. Os autores observaram altos níveis de liberação de íons cálcio (Ca) e potássio (P) (BARAS et al., 2019). Estes íons de Ca e P podem ajudar a regenerar os minerais perdidos e potencialmente melhorar as propriedades mecânicas da dentina radicular (BARAS et al., 2019). O novo cimento endodôntico desenvolvido continha agentes triplos de metacrilato de dimetilaminohexadecil (DMAHDM), nanopartículas de prata (NAg) e nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP), e foram avaliados os efeitos sobre os íons físicos, antibacterianos, remineralizantes e a dureza da dentina pela primeira vez (BARAS et al., 2019). A incorporação de DMAHDM, NAg e NACP não influenciou adversamente a fluidez e espessura do filme (BARAS et al., 2019). O cimento com NACP neutralizou 30% o ácido e aumentou o pH da solução ($p < 0,05$) (BARAS et al., 2019). A incorporação de 5% de DMAHDM e 0,15% de NAg reduziu

unidades formadoras de colônias (UFC) de blocos de dentina impregnados com *E. faecalis* em quase 3 logs quando comparado ao grupo de controle ($p < 0,05$) (BARAS et al., 2019).

Os cimentos biocerâmicos para canais radiculares, como o BioRoot RCS, têm recebido atenção significativa para uso em endodôntica (BAGHDADI et al., 2021). O material alvo (Bioroot RCS) é considerado um material biocerâmico, que tem sido introduzido na prática odontológica principalmente devido à sua biocompatibilidade (BOSIO et al., 2014), atividade antibacteriana (ZHANG et al., 2009) e potencial osteogênico. (CHANG et al., 2014). A adição de um material nanofásico como nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) e carboneto de titânio (CT) à sua matriz, combinada com sinterização sem pressão pode ter o potencial de melhorar as propriedades físico-químicas, microestruturais e de resistência à compressão (BAGHDADI et al., 2021). Este trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades do BioRoot RCS reforçado com 1% em peso de MWCNTs e TC e descrever efetivamente sua relação de propriedades de estrutura, usando uma técnica de sinterização sem pressão. As propriedades físico-químicas, como tempo de presa, pH e solubilidade, além da resistência a compressão e a densidade dos compósitos foram investigadas (BAGHDADI et al., 2021). O tempo de presa final antes e após a sinterização a 600 ° C dos compósitos foi acelerado em relação ao Bioroot RCS ($p = 0,016$) (BAGHDADI et al., 2021). A solubilidade do Bioroot / CT sinterizado a 600 ° C foi a menor ($p = 0,07$) e sua resistência à compressão foi a maior entre as amostras sinterizadas ($p = 0,01$) (BAGHDADI et al., 2021). A incorporação de nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) e carboneto de titânio (CT) teve um aumento significativo na resistência à compressão do Bioroot RCS ($p < 0,05$) (BAGHDADI et al., 2021). Experimentos com um cimento de canal radicular à base de biocerâmica com o objetivo de melhorar suas propriedades físico-químicas via reforço com cada um dos três diferentes nanomateriais: multi-walled nanotubos de carbono (MWCNTs), carboneto de titânio (TC) ou nitreto de boro (BN) em duas percentagens em peso (1% em peso e 2% em peso) (BAGHDADI et al., 2020). Misturadas e definidas foram avaliadas e comparadas com o BioRoot™ puro RCS (BAGHDADI et al., 2020). BAGHDADI et al. (2020) concluíram que um cimento de canal radicular contendo biocerâmico (BioRoot™ RCS) com um tempo de presa mais curto, um pH alcalino e uma solubilidade relativamente mais baixa podem ser desenvolvidos por incorporação de nanomateriais.

Uma comparação das propriedades físico-químicas entre um cimento endodôntico à base de silicato de cálcio e compósitos formados pela adição de diferentes nanomateriais foram apresentadas (BAGHDADI et al., 2020). Os compósitos direcionados mostraram boas

propriedades físico-químicas, com resultados semelhantes ou melhores que o material alvo Bioroot RCS. Com base nos resultados, diferentes nanomateriais podem ser considerados um potencial para serem usados em associação com cimentos endodônticos à base de silicato de cálcio (BAGHDADI et al., 2020).

3.3 Propriedades biológicas e físico-químicas das nanopartículas associadas a cimentos endodônticos obturadores

Wang et al., (2017) desenvolveram um cimento endodôntico bioativo via dimetilaminohexadecil metacrilato (DMAHDM), metacrililoiloxietilfosforilcolina (MPC) e nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) pela primeira vez e avaliaram a inibição do biofilme endodôntico multiespécies em estágio inicial e maduro, a resistência de união à dentina do canal radicular e a liberação de íons cálcio (Ca) e fosfato (P). A resistência de união à dentina radicular foi medida através de um teste de push-out (WANG et al., 2017). Três linhagens endodônticas, *E. faecalis*, *A. naeslundii* e *F. nucleatum*, foram cultivadas em discos de cimento endodôntico para formar biofilmes multiespécies (WANG et al., 2017). Os biofilmes foram cultivados por 3 dias (inicial) e 14 dias (maduro) (WANG et al., 2017). Um novo cimento endodôntico bioativo foi desenvolvido com potente inibição de biofilmes endodônticos multiespécies, reduzindo as unidades formadoras de colônias UFC do biofilme, contendo NACP para remineralização e possuindo boa resistência de união às paredes dentinárias do canal radicular (WANG et al., 2017).

O cimento Epóxi associado a nanopartículas de N-acetilcisteína (NAC) ou beta-tricálcio fosfato (β -TCP) mostrou melhor resistência de união enquanto o agregado de trióxido mineral permitiu a adesão mais baixa (CAMARGO et al., 2019). Agregado de trióxido mineral, o cimento Epóxi + β -TCP e o cimento Epóxi +NAC apresentaram baixa citotoxicidade (CAMARGO et al., 2019). O cimento epóxi foi o mais citotóxico (CAMARGO et al., 2019). Em ensaios de atividade antimicrobiana, todos os materiais não tiveram efeito sobre *Cândida albicans* (CAMARGO et al., 2019). A adição de nanopartículas de N-acetilcisteína (NAC) melhorou a propriedade antimicrobiana do cimento Epóxi contra *Enterococcus faecalis* em comparação ao cimento Epóxi não modificado ($P < 0,05$) (CAMARGO et al., 2019). As descobertas relatadas neste estudo indicam que β -TCP ou NAC pode ser usado junto com o cimento Epóxi para obter uma melhor adesividade e biocompatibilidade (CAMARGO et al., 2019). Assim, o uso de um cimento à base de resina

epóxi juntamente com β -TCP ou NAC pode ser uma abordagem eficaz para obter um selo hermético e estimular a cicatrização de tecidos periapicais (CAMARGO et al., 2019).

A adição de nanopartículas (NP) aos cimentos endodônticos foi testada principalmente no que diz respeito à redução da penetração bacteriana e ao aumento da atividade antibacteriana nos túbulos dentinários e a substantividade dos cimentos (CARVALHO et al., 2021). A clorexidina (CHX) é um desses agentes antimicrobianos usados sob uma forma nanoparticulada (CARVALHO et al., 2021). A CHX é altamente eficiente e de baixo custo, além de apresentar substantividade que é uma grande vantagem que seu uso traz. (CARVALHO et al., 2021). Ela oferece uma alta ação antimicrobiana de amplo espectro, o que o torna eficaz contra bactérias Gram-positivas, bactérias Gram-negativas e fungos. (CARVALHO et al., 2021). As nanopartículas de clorexidina-hexametafosfato (CHX-HMP) incorporadas aos cimentos endodônticos representam uma abordagem promissora, principalmente quando associada a MTA Fillapex, tendo em vista a contínua e duradoura ação antimicrobiana que oferece contra *E. faecalis* (CARVALHO et al., 2021). Além disso, a incorporação de nanopartículas não comprometeu a radiopacidade e o pH dos cimentos endodônticos, e reduziu a solubilidade destes materiais (CARVALHO et al., 2021). NPs CHX incorporados com hexametafosfato (NPs CHX-HMP) são considerados dispositivos de liberação lenta (CARVALHO et al., 2021). O CHX-HMP tem solubilidade menor que o digluconato de CHX e, quando utilizado como revestimento, pode conferir uma liberação sustentada de CHX que persiste por pelo menos três meses, com capacidade de reduzir a colonização bacteriana e inibir o crescimento de microrganismos patogênicos (CARVALHO et al., 2021). As NPs de CHX-HMP sofrem menor solubilidade, conseqüentemente oferecendo uma liberação gradual, contínua e prolongada de CHX no meio, o que resulta em menor citotoxicidade (CARVALHO et al., 2021).

4. METODOLOGIA

Esta pesquisa se caracteriza por um estudo de revisão da literatura, baseada em publicações selecionadas nas bases de dados *Science Direct* e *PubMed*. Foram utilizados os descritores: “Endodontic Sealer” e “Nanoparticles”. Considerou-se como critérios de inclusão: artigos científicos que avaliassem as propriedades antimicrobianas, citotóxicas e físico-químicas de cimentos endodônticos nanoparticulados, publicados nos últimos 5 anos (2017-2021) escritos em idioma inglês e que possuíssem acesso online. Livros, teses, dissertações, artigos de revisão e notas editoriais foram excluídos da pesquisa. Foram respeitados os princípios éticos durante a busca dos dados, bem como, os direitos autorais e referências.

Inicialmente os artigos foram selecionados pelo título e resumo, posteriormente foram avaliados na íntegra por todos os autores do estudo para uma análise completa daqueles que atendiam os critérios de inclusão. A partir da seleção final as informações foram incluídas em um quadro de revisão para análise dos resultados dos estudos. O referido quadro será apresentado no capítulo de resultados.

5. RESULTADOS

Na busca inicial foram encontradas 83 publicações potencialmente elegíveis. Destas 46 foram identificadas no *Science Direct* e 37 no *Pubmed*. A pré-seleção considerou a leitura de título e resumo dos artigos e classificou ao final 15 publicações (Fig. 1).

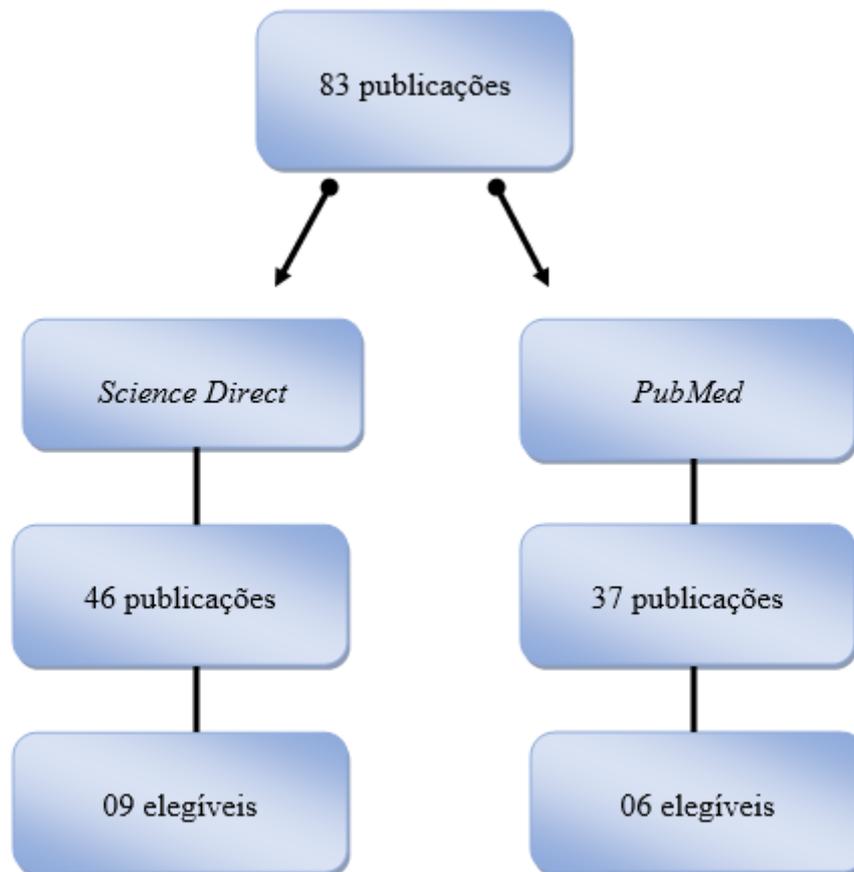


Figura 1 - Síntese do processo de seleção dos estudos para análise.

Na análise do período de publicação observou-se que 10 (66,66%) artigos foram publicados entre 2017-2019, 5 (33,33%) entre 2020 a 2022.

Em relação aos objetivos, apenas 2 trabalhos avaliaram todas as propriedades consideradas neste estudo (13,33%), 1 (6,66%) buscaram avaliar especificamente o efeito antimicrobiano dos cimentos nanoparticulados, 2 (13,33%) avaliaram apenas as propriedades físico-químicas. Ainda 5 (33,33%) avaliaram as propriedades antimicrobianas e físico-químicas, 5 (33,33) avaliaram as propriedades citotóxicas e físico-químicas e 2 (13,33%) avaliaram as propriedades antimicrobianas e citotóxicas.

O quadro 1 apresenta os artigos que investigaram a propriedade antimicrobiana de cimentos endodônticos funcionalizados com nanopartículas entre 2017 e 2021, constando o tipo de estudo, qual o nanomaterial, cimentos testados, local de aplicação, microrganismos testados e eficácia.

Em relação ao tipo de estudo, todos são estudos *in vitro*, sendo 9 testados em meios de cultura (81,81%), 1 (9,09%) em canais radiculares de dentes extraídos e 1 (9,09%) em blocos de dentina.

Em relação ao microrganismo testados, dos 11 artigos, 8 (72,72%) estudaram o microrganismo *Enterococcus faecalis* isolado ou em comparação a outros microrganismos, 2 (18,18%) testaram em biofilmes multiespécies, 2 (18,18%) avaliaram os efeitos antimicrobiano dos cimentos sobre a *Cândida Albicans*, 1 (9,09%) sobre a *Escherichia coli* e 1 (9,09%) sobre o *Streptococcus Mutans*. Em todos os estudos a incorporação de nanopartículas aprimorou a atividade antimicrobiana dos cimentos testados.

As nanopartículas testadas foram Metacrilato de Dimetilaminohexadecil (DMAHDM); metacriloiloxietil fosforilcolina (MPC); fosfato de cálcio amorfo (NACP); aluminato de cálcio (C3A); C3A contendo prata (C3A + Ag); nanopartículas de sílica; nanopartículas de prata (NAg); N-acetilcisteína (NAC); nanopartículas de fosfato tricálcico beta-TCP; Metoxi-4-Nitro-5-Sulfofenil-2H Tetrazólio-5-Carboxanilida (XTT); Sulforhodamina B SRB; nanopartículas de clorexidina-hexametafosfato (CHX-HMP NPs); Própolis egípcia extraída (ProE) e encapsulada em nanopartículas poliméricas (ProE-loaded NPs); Vanadato de prata nanoestruturado decorado com nanopartículas de prata (AgVO₃); Nanopartículas de silicato de cálcio mesoporoso (MCSNs) incorporados com Ag e Zn.

Com relação aos cimentos testados temos MTA; MTA Fillapex; Angelus; AH Plus; Dentsply De Trey; Pulp Canal Sealer (PCS); Silicato de Cálcio; MTA+ 5% (C3A); MTA + 10% (C3A); MTA (C3A) + 5% (C3A + 1%Ag); MTA + 10% (C3A + 1%Ag); MTA + 5% (C3A + 5%Ag); MTA + 10% (C3A + 5%Ag); DMAHDM; MPC; NACP; DMAHDM 5%; NAg; NACP 0,15% com frações de massa de 10%, 20% e 30%; Cimento à base de resina epóxi AH Plus; Cimento à base de resina Epóxi; NAC; β - TCP nanocristais; NPs CHX-HMP; Sealer 26; Endometasona N; Ag / Zn (1: 9) -MCSNs; Ag / Zn (9: 1) -MCSNs; Endosequence; Sealapex ;Tubliseal.

Quadro 1- Artigos que investigaram a propriedade antimicrobiana de cimentos endodônticos funcionalizados com nanopartículas entre 2017 e 2021.

Nº	Autor/Ano	Tipo de estudo	Nanomaterial	Cimentos/grupos testados	Local de Aplicação	Microrganismo(s) testado (s)	Eficácia
1.	Wang et al., 2017	<i>In vitro</i>	Metacrilato de dimetilaminohexadecil (DMAHDM), metacrilóiloxietil fosforilcolina (MPC) e nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP).	DMAHDM MPC NACP	Placas de cultura	<i>Enterococcus Faecalis</i> <i>Actinomyces Naeslundii</i> <i>Fusobacterium Nucleatum</i>	Potente inibição de biofilmes endodônticos multiespécies, reduzindo UFC do biofilme em 3 log, contendo NACP para remineralização e possuindo boa resistência de união às paredes dentinárias do canal radicular.
2.	Almeida et al., 2018	<i>In vitro</i>	Partículas de aluminato de cálcio (C3A) e C3A contendo prata (C3A + Ag) testando seus efeitos nas propriedades de cimento endodôntico à base de MTA com nanopartículas de sílica.	MTA-based sealer; MTA Fillapex; Angelus; AH Plus; Dentsply De Trey; Epoxy resin-based sealer; Calcium silicate-based sealer; MTA-based sealer + 5% (C3A); MTA-based sealer + 10% (C3A); MTA-based sealer (C3A) + 5% (C3A + 1% Ag); MTA-based sealer + 10% (C3A + 1% Ag); MTA-based sealer + 5% (C3A + 5% Ag); MTA-based sealer + 10% (C3A + 5% Ag).	Placas de cultura Avaliada a viabilidade do biofilme por meio da técnica de SYTO 9.	Biofilme bacteriano anaeróbico	O efeito antibiofilme foi melhorado com a presença de partículas de C3A em relação aos resultados obtidos com a adição da Ag.
3.	Baras et al., 2019 (a)	<i>In vitro</i>	Cimento de canal radicular de dupla polimerização com resina de metacrilato de dimetilaminohexadecil (DMAHDM) Nanopartículas de prata NAg e Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo NACP.	DMAHDM 5%; NAg; NACP 0,15% com frações de massa de 10%, 20% e 30%.	Blocos de dentina	<i>Enterococcus Faecalis</i>	A incorporação de 5% de DMAHDM e 0,15% de NAg reduziu a UFC do biofilme de blocos de dentina impregnados de <i>E. faecalis</i> em quase 3 logs quando comparado ao grupo controle
4.	Baras et al., 2019 (b)	<i>In vitro</i>	Dimetilaminohexadecil metacrilato (DMAHDM) Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP)	Cimento à base de resina epóxi AH Plus	Placas de cultura	<i>E. faecalis</i>	O cimento com DMAHDM diminuiu o biofilme de <i>E. faecalis</i> e UFC em mais de 4 ordens de magnitude, em comparação com AH plus e controles experimentais

5.	Camargo et al., 2019	<i>In vitro</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Cimento a base de resina epóxi associado a N-acetilcisteína NAC Nanopartículas de fosfato tricálcico beta -TCP; • Metoxi-4-Nitro-5-Sulfofenil) -2H; • Tetrazólio-5-Carboxanilida XTT Sulforhodamina B SRB. 	Cimento à base de resina Epóxi; Agregado de trióxido mineral; NAC; β - TCP nanocristais.	Placas de cultura	<i>Candida albicans E. faecalis e Escherichia coli</i>	O crescimento de E. coli foi altamente inibido pelo agregado trióxido mineral seguido por cimento Epóxi + β -TCP e cimento epóxi. A maior inibição do crescimento de E. faecalis foi alcançada pelo agregado trióxido mineral e cimento Epóxi + NAC do que pelo cimento Epóxi + β -TCP e cimento Epóxi. Nenhum dos materiais testados inibiu o crescimento de C. albicans.
6.	Carvalho et al., 2021	<i>In vitro</i>	Incorporação de nanopartículas de clorexidina-hexametafosfato (CHX-HMP NPs) nas propriedades antibacterianas, citotóxicas e físico-químicas de AH Plus (AH), MTA Fillapex (MTA) e Pulp Canal Sealer (PCS).	NPs CHX-HMP	Placas de cultura	<i>Enterococcus faecalis</i>	Um aumento na ação antimicrobiana de AH, PCS e MTA.
7.	Raheem et al., 2019	<i>In vitro</i>	Propolis-loaded NPs of PLGA (ProE-loaded NPs)	AH Plus	Placas de cultura	<i>Enterococcus faecalis Streptococcus mutans Candida albicans.</i>	Os cimentos desenvolvidos mostraram atividade antimicrobiana versus cepas bacterianas de Enterococcus faecalis e Streptococcus mutans e atividade antifúngica contra Candida albicans.

O Quadro 2 apresenta o resultado da análise das propriedades citotóxicas dos cimentos endodônticos funcionalizados com nanopartículas entre 2017 e 2021. Dos 6 estudos encontrados, observa-se uma variedade em relação as células testadas. 2 (33,33%) estudos aplicaram em fibroblastos MRC-5, 1 (16,66%) em fibroblastos do Ligamento Periodontal, 1 (16,66%) em Linhagem celular de osteossarcoma, 1(16,66%) em Linhagem celular de pré-osteoblasto, 1(16,66%) fibroblasto pulmonar.

Em relação aos cimentos testados foram à base de resina Epóxi; Aluminato de cálcio em combinação com carbonato de cálcio (calcita) e sulfato de bário (BaSO₄); Nanocristais NAC; Beta-TCP; NPs CHX-HMP; AH Plus (AH); MTA Fillapex (MTA); Pulp Canal Sealer (PCS); Vidro de fosfosilicato de cálcio bioativo derivado de ácido fítico denominado PSC misturado com óxido de zircônio (ZrO₂) como pó, e solução de fosfato (PS) dissolvida com alginato de sódio (SA) denominado PS-SA como líquido.

Dos 6 estudos analisados, apenas 1 a incorporação da nanopartícula aumentou a citotoxicidade dos cimentos.

Quadro 2- Artigos que investigaram a propriedade de citotoxicidade dos cimentos endodônticos funcionalizados com nanopartículas entre 2017 e 2021.

Nº	Autor/Ano	Tipo de estudo	Nanomaterial	Cimentos/grupos testados	Célula testada	Resultados
1.	Camargo et al., 2019	<i>In vitro</i>	Cimento a base de resina epóxi associado a N-acetilcisteína (NAC), Nanopartículas de fosfato beta-tricálcico (beta -TCP)	Cimento à base de resina Epóxi, agregado trióxido mineral; Nanocristais NAC; Beta-TCP.	<i>Fibroblastos do ligamento periodontal humano.</i>	No teste de XTT, o agregado trióxido mineral foi o material menos citotóxico, dentre os grupos que promovem mais de 90% de viabilidade celular e maior proliferação celular. Taxas de sobrevivência celular significativamente mais baixas foram encontradas em diluições de 1:1 e 1:4 de cimento epóxi no dia 1, 3 ou 7 em comparação com os outros materiais, indicando que o cimento Epóxi foi o material mais citotóxico. Cimento Epóxi+ NAC e cimento Epóxi +beta – TCP promoveram a viabilidade celular em níveis semelhantes e exibiram alta proliferação celular em todas as diluições e nos três períodos de tempo testados. No teste SRB, o cimento Epóxi +beta -TCP e o agregado trióxido mineral apresentaram os menores efeitos citotóxicos, mostrando mais de 90% de viabilidade celular e maior proliferação celular. O cimento epóxi + NAC apresentou menor proliferação celular que o cimento epóxi +beta-TCP e agregado de trióxido mineral em todas as diluições de 1:1 a 1:4 no dia 1. O cimento Epóxi apresentou a menor viabilidade celular nas diluições de 1 a 1:4 comparado a todos os outros materiais testados.
2.	Carvalho et al., 2021	<i>In vitro</i>	Incorporação de nanopartículas de clorexidina-hexametafosfato (CHX-HMP NPs) nos cimentos AH Plus (AH), MTA Fillapex (MTA) e Pulp Canal Sealer (PCS).	NPs CHX-HMP	<i>Fibroblastos MRC-5</i>	Todos os materiais avaliados apresentaram efeitos citotóxicos. Observou um aumento da citotoxicidade em correlação com a incorporação de NPs de CHX-HMP. O AH Plus apresentou a maior viabilidade celular seguido do Pulp Canal Sealer® porém observou-se aumento da citotoxicidade com a incorporação de NPs CHX-HMP 5% em todas as diluições estabelecidas. Embora o MTA Fillapex com a incorporação de NPs CHX-HMP tenha apresentado a maior citotoxicidade geral, a própria incorporação de NPs só aumentou a citotoxicidade na diluição 1:8 do extrato.
3.	Colovic et al., 2019	<i>In vitro</i>	Um novo cimento de aluminato de cálcio em combinação com carbonato de cálcio (calcita) e sulfato de bário (BaSO ₄). A calcita foi adicionada à mistura	Carbonato de cálcio (calcita) e sulfato de bário (BaSO ₄).	<i>Fibroblastos MRC-5</i>	Não exibiu quaisquer efeitos citotóxicos nem genotóxicos para a linhagem celular MRC-5.

			como carga ou agregado.			
4.	Huang et al., 2021	<i>In vitro</i>	O novo cimento endodôntico foi composto de vidro de fosfosilicato de cálcio bioativo derivado de ácido fítico denominado PSC misturado com óxido de zircônio (ZrO ₂) como pó, e solução de fosfato (PS) dissolvida com alginato de sódio (SA) denominado PS-SA como líquido.	BG, PSC, ZRO2, PS-SA.	<i>Linhagem celular de osteossarcoma MG-63 de camundongo.</i>	O ensaio CCK-8 indicou que BGS-SA-Zr não teve efeitos citotóxicos em células MG-63.
5.	Raheem et al., 2019	<i>In vitro</i>	Propolis-loaded NPs of PLGA (ProE-loaded NPs)	AH Plus	<i>Fibroblasto Pulmonar Humano</i>	O estudo de citotoxicidade in vitro confirmou a segurança das NPs carregadas com ProE. NPs carregadas com ProE podem ser incorporados e representados como um cimento de canal radicular com liberação prolongada e citocompatibilidade aprimorada, bem como atividades antimicrobianas.
6.	Leng et al., 2020	<i>In vitro</i>	Nanopartículas de silicato de cálcio mesoporoso (MCSNs) incorporados com Ag e Zn	Ag / Zn (1: 9) –MCSNs Ag / Zn (9: 1) -MCSNs	<i>Linhagem celular de pre-osteoblastos de camundongo (MC3T3-E1, ATCC)</i>	MCSNs, Ag/Zn(1:1/ 1:9 razão molar) não mostraram citotoxicidade enquanto para Ag-MCSNs na proporção Ag/Zn(9:1)-MCSNs mostraram-se citotóxicas, e Zn-MCSNs pode promover uma ligeira proliferação celular.

No terceiro quadro são apresentados os resultados das análises das propriedades físico-químicas dos cimentos endodônticos funcionalizados com nanopartículas entre 2017 e 2021. Dentre as inúmeras propriedades avaliadas, as mais frequentes foram tempo de presa 6 (50%), escoamento 6 (50%), solubilidade com 5 (41,66%), pH 4 (33,33%), liberação de íons 4 (33,33%), radiopacidade 3 (25%), espessura 2 (16,66%), sendo que as demais propriedades apresentadas no quadro apresentaram apenas 1 ocorrência.

Os principais cimentos testados foram MTA ; MTA Fillapex; Angelus; AH Plus; Dentsply De Trey; Cimento à base de resina Epóxi; Cimento à base de silicato de cálcio; MTA + 5% (C3A); MTA + 10% (C3A); MTA (C3A) + 5% (C3A + 1%Ag); MTA+ 10% (C3A + 1%Ag); MTA+ 5% (C3A + 5%Ag); MTA + 10% (C3A + 5%Ag); BioRoot - MWCNTS; BioRoot – TC; BioRoot – BN; Nanomateriais MWCNTs; BioRoots RCS; DMAHDM 5%, NAg e NACP 0,15% com frações de massa de 10%, 20% e 30%; Cimento à base de resina epóxi, agregado trióxido mineral, nanocristais NAC e beta -TCP; Aluminato de cálcio em combinação com carbonato de cálcio (calcita) e sulfato de bário (BaSO₄); BGS-SA-Zr + pó de PSC e ZrO₂ e líquido PS-SA; Vanadato de prata nanoestruturado decorado com nanopartículas de prata (AgVO₃) a 2,5%, 5% e 10%.

Os resultados demonstram que em geral as físico-químicas dos cimentos modificados com as nanopartículas foram similares às dos materiais comercializados, sem alteração da composição principal e mantendo as especificações das normas ISO.

Quadro 3- Artigos que investigaram as propriedades físico-químicas dos cimentos endodônticos funcionalizados com nanopartículas entre 2017 e 2021.

Nº	Autor/Ano	Tipo de estudo	Nanomaterial	Cimentos/grupos testados	Propriedades físico-químicas testadas	Resultados
1.	Almeida et al., 2018	<i>In vitro</i>	Partículas de aluminato de cálcio (C3A) e C3A contendo prata (C3A + Ag) testando seus efeitos nas propriedades de cimento endodôntico à base de MTA com nanopartículas de sílica.	MTA-based sealer; MTA Fillapex; Angelus; AH Plus; Dentsply De Trey; Epoxy resin-based sealer; Calcium silicate-based sealer; MTA-based sealer + 5% (C3A); MTA-based sealer + 10% (C3A); MTA-based sealer (C3A) + 5% (C3A + 1% Ag); MTA-based sealer + 10% (C3A + 1% Ag); MTA-based sealer + 5% (C3A + 5% Ag); MTA-based sealer + 10% (C3A + 5% Ag).	O tempo de presa, escoamento, radiopacidade, sorção de água e solubilidade dos cimentos comerciais e modificados foram avaliados de acordo com a norma ISO 6876/2012. Ainda foram avaliados pH e a liberação de íons.	As propriedades físico-químicas do cimento modificado à base de MTA foram semelhantes às do material comercial, exceto pelo aumento significativo na liberação de Ca ⁺² . No entanto, não houve liberação de Ag. O tempo de presa, escoamento, radiopacidade, sorção de água e solubilidade foram adequados para todos os materiais. Todos os materiais apresentaram pH alcalino.
2.	Baghdadi et al., 2020	<i>In vitro</i>	Nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs), carboneto de titânio (TC) e nitreto de boro (BN).	BioRoot -MWCNTs; BioRoot – TC; BioRoot – BN;	Foram avaliados os tempos de presa inicial e final, solubilidade, eluição, valores de pH microestrutura dos materiais compósitos das amostras recém-misturadas e endurecidas.	Os novos compósitos à base de biocerâmica apresentaram propriedades físico-químicas aceitáveis e resultados promissores. Os nanomateriais estudados apresentam impacto positivo tanto no tempo de presa quanto na solubilidade, mantendo um perfil de pH alcalino sem alterar a composição principal do cimento alvo. As imagens SEM indicaram que nos compósitos obtidos, o tamanho das partículas desempenha um papel importante no seu desempenho após serem misturados com o líquido. O nanomaterial com o menor tamanho e com a menor porcentagem foi distribuído de forma mais homogênea na matriz Bioroot.
3.	Baghdadi et al., 2021	<i>In vitro</i>	BioRoot RCS, Nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) e carboneto de titânio	Nanomateriais MWCNTs; BioRoots RCS; TC.	O tempo de presa, solubilidade, pH, resistência à compressão e densidade. As propriedades microestruturais dos compósitos foram investigadas por XRD, FTIR, espectroscopia Raman e SEM.	O tempo final de presa antes e após a sinterização a 600°C dos compósitos foi acelerado em relação ao Bioroot RCS. A solubilidade do Bioroot/TC sinterizado a 600 °C foi a menor e sua resistência à compressão a maior entre as amostras sinterizadas. A incorporação de MWCNTs e TC teve um

			(TC).			aumento significativo na resistência à compressão do Bioroot RCS.
4.	Baras et al., 2019(a)	<i>In vitro</i>	Cimento de canal radicular de dupla polimerização com resina de metacrilato de dimetilaminohexadecil (DMAHDM) Nanopartículas de prata (NAg) e Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP).	DMAHDM 5%, NAg e NACP 0,15% com frações de massa de 10%, 20% e 30.	O escoamento, a espessura do filme e a liberação de íons Ca e P foram investigados. Os efeitos do NACP na dureza da dentina radicular após tratamento com hipoclorito de sódio (NaOCL) e ácido etilendiaminotetracético (EDTA) foram avaliados.	A incorporação de DMAHDM, NAg e NACP não influenciou negativamente as propriedades de escoamento e espessura do filme. O cimento com 30% de NACP neutralizou o ácido e aumentou o pH da solução. Cimento contendo 30% de minerais de dentina regenerados com NACP perdidos devido ao tratamento com NaOCL e EDTA, e aumentou a dureza da dentina para igualar a dentina sadia.
5.	Camargo et al., 2019	<i>In vitro</i>	Cimento a base de resina epóxi associado a N-acetilcisteína (NAC) Nanopartículas de fosfato tricálcico beta-TCP	Cimento à base de resina epóxi, agregado trióxido mineral, nanocristais NAC e beta -TCP.	Adesividade.	O cimento Epóxi em associação com beta-TCP ou NAC apresentou melhor resistência de união enquanto o agregado de trióxido mineral apresentou menor adesão.
6.	Carvalho et al., 2021	<i>In vitro</i>	Incorporação de nanopartículas de clorexidina-hexametafosfato (CHX-HMP NPs) nas propriedades antibacterianas, citotóxicas e físico-químicas de AH Plus (AH), MTA Fillapex (MTA) e Pulp Canal Sealer (PCS).	NPs CHX-HMP	Escoamento, radiopacidade, tempo de presa, solubilidade e pH.	Os cimentos apresentaram diminuição do escoamento e às 24h de imersão também aumento da solubilidade, mas não afetaram a radiopacidade das amostras; O tempo de presa do AH aumentou e o MTA não atingiu a presa em nenhuma das condições testadas. Todas as amostras mostraram uma diminuição no valor do pH à medida que o tempo de imersão progrediu.
7.	Colovic et al., 2019	<i>In vitro</i>	Um novo cimento de aluminato de cálcio. Em combinação com carbonato de cálcio (calcita) e sulfato de bário (BaSO ₄). A calcita foi adicionada à mistura como carga ou agregado.	Carbonato de cálcio (calcita); Sulfato de bário (BaSO ₄).	Força de compressão e liberação de íons Ca, Al, Ba, Morfologia.	Mostrou que a nova mistura endodôntica possuía boas propriedades mecânicas (resistência à compressão após 28 dias de envelhecimento foi de 94 MPa) e tempo de presa relativamente curto (2 h). A análise morfológica revelou a composição elementar da amostra da mistura.

8.	Huang et al., 2021	<i>In vitro</i>	BGS-SA-Zr + pó de PSC e ZrO ₂ e líquido PS-SA.	BG, PSC, ZRO ₂ , PS-SA.	A viscosidade, espessura do filme, tempo de presa e radiopacidade dos cimentos de canal radicular à base de BG foram determinados de acordo com a International Standard Organization (ISO 6876:2012).	Os resultados indicaram que o escoamento, a espessura do filme e a radiopacidade do BGS-SA-Zr estavam de acordo com a ISO 6876:2012. O tempo de presa e a solubilidade do BGS-SA-Zr foram 53,7 1,5 min e 21,46 0,54%, respectivamente. O valor de pH do fluido corporal simulado (SBF) imerso com BGS-SA-Zr aumentou ligeiramente até 7,70.
9.	Wang et al., 2017	<i>In vitro</i>	DMAHDM + MPC e NACP.	DMAHDM MPC NACP	Adesividade	A incorporação de DMAHDM, MPC e NACP não diminuiu a resistência de união. O cimento endodôntico com DMAHDM + MPC teve liberação de íons Ca e P ligeiramente menor, mas não significativamente menor, em comparação com o sem DMAHDM + MPC.
10.	Baras et al., 2019 (b)	<i>In vitro</i>	Dimetilaminohexadecil metacrilato (DMAHDM) Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP)	Cimento à base de resina epóxi AH Plus	Escoamento, capacidade de selamento, liberação de íons cálcio (Ca) e fosfato (P) do cimento.	O novo cimento contendo 20% de NACP e 5% de DMAHDM produziu um escoamento de pasta de (28,99 ± 0,69) mm, dentro do alcance das recomendações ISO. As propriedades de selamento do cimento com 5% DMAHDM e 20% NACP foram semelhantes a um controle comercial (p > 0,05). O cimento com 20% de NACP e DMAHDM a 5% apresentaram níveis relativamente altos de liberação de íons Ca e P necessários para a remineralização.
11.	Seung et al., 2018	<i>In Vitro</i>	Metacrilato de dimetilaminododecil (DMAHDM) Nanoprata (NAg)	AH Plus	Tempo de presa, escoamento solubilidade, alteração dimensional.	Foram adicionadas concentrações de 2,5% de DMAHDM e 0,15% de NAg para AH Plus. O fluxo de mAH Plus diminuiu significativamente, mas ainda dentro dos Padrões Nacionais Americanos. Não houve diferenças significativas no tempo de presa, solubilidade ou mudança dimensional.
12.	Vilela et al., 2019	<i>In Vitro</i>	Vanadato de prata nanoestruturado decorado com nanopartículas de prata (AgVO ₃) a 2,5%, 5% e 10%.	AH Plus Cimento 26 Endometasona N	Topografia de superfície, composição química e tempo de presa.	Os cimentos incorporados com AgVO ₃ de AH Plus apresentaram tempo de presa menor que o grupo controle. Para o cimento 26 e Endometasona N, a incorporação de AgVO ₃ aumentou o tempo de presa em relação ao grupo controle. A modificação de cimentos endodônticos por AgVO ₃ alterou a porcentagem atômica dos componentes do cimento e os tempos de presa.

6. DISCUSSÃO

As propriedades dos cimentos endodônticos têm impacto na qualidade da obturação do canal radicular e conseqüentemente no resultado final do tratamento endodôntico (ALMEIDA et al., 2018). Selar o sistema de canais radiculares é considerado uma das chaves para o sucesso da terapia do canal radicular (HUANG et al., 2021)., tendo como principais funções o preenchimento dos espaços vazios entre as paredes do canal radicular e gutapercha, incorporando bactérias residuais e preenchendo irregularidades do sistema de canais radiculares, incluindo pequenos canais e istmo (HUANG et al., 2021).

Desta forma, os cimentos devem apresentar propriedades físico-químicas adequadas, como baixo tempo de presa, radiopacidade, escoamento, sorção de água e solubilidade entre outras (ALMEIDA et al., 2018). Os cimentos ideais também devem ter propriedades antimicrobianas além de estimular a reparação dos tecidos periapicais afetados (ALMEIDA et al., 2018).

Neste contexto, recentemente a nanotecnologia tem sido usada na endodontia através da incorporação de nanopartículas em diversas etapas do tratamento endodôntico e dentre elas destaca-se a associação aos cimentos obturadores com o objetivo de melhorar suas propriedades antimicrobianas, biológicas e físico-químicas (ALMEIDA et al., 2018; BAGHDADI et al., 2020; BAGHDADI et al., 2021; BARAS et al., 2019a; BARAS et al., 2019b; COLOVIC et al., 2019; CAMARGO et al., 2019; CARVALHO et al., 2021; HUANG et al., 2021; LENG et al., 2020; LOYOLA-RODRIGUEZ et al., 2019; RAHEEM et al., 2019; SEUNG et al., 2018; VILELA et al., 2019; WANG et al., 2017).

Durante a análise das propriedades antimicrobianas observou-se que em todos os estudos incluídos no quadro de revisão, a adição de nanopartículas aos cimentos promoveu atividade antimicrobiana principalmente contra os *E. Faecalis* (BARAS et al., 2019a; BARAS et al., 2019b; CAMARGO et al., 2019; LENG et al., 2020; LOYOLA-RODRIGUEZ et al., 2019; RAHEEM et al., 2019; SEUNG et al., 2018), seguido de efetividade sobre biofilmes multiespécies (WANG et al., 2017), *Cândida Albicans* (RAHEEM et al., 2019) *Escherichia coli* e *Streptococcus Mutans* (CAMARGO et al., 2019; RAHEEM et al., 2019). Além disso a maioria dos estudos demonstrou que a incorporação de nanopartículas aprimorou a atividade antimicrobiana dos cimentos (ALMEIDA et al. 2018; BARAS et al. 2019; BARAS et al. 2019b, CAMARGO et al., 2019; CARVALHO et al., 2021; LOYOLA-RODRIGUEZ et al., 2019; SEUNG et al., 2018).

Em relação a análise de biocompatibilidade foram encontrados apenas seis estudos com uma diversidade entre as células, cimentos e nanopartículas testadas (COLOVIC et al., 2019; CAMARGO et al., 2019; CARVALHO et al., 2021; HUANG et al., 2021; LENG et al., 2020; RAHEEM et al., 2019). No geral a funcionalização dos cimentos atualmente comercializados com as nanopartículas apresentou índices de citotoxicidades aceitáveis, dentro do padrão das normas regulatórias (CAMARGO et al., 2019; COLOVIC et al., 2019; HUANG et al., 2021; RAHEEM et al., 2019; LENG et al., 2020). Ainda, em algumas situações a adição de nanopartículas pode aprimorar a biocompatibilidade, reduzindo a ação citotóxica do cimento como demonstrado por Camargo et al. 2019, no qual o cimento Epóxi na sua fórmula original foi o mais citotóxico, enquanto que quando adicionado de beta-TCP apresentou os menores efeitos citotóxicos, mostrando mais de 90% de viabilidade celular e maior proliferação celular. Entretanto, como o número de estudos é pequeno e há uma diversidade de metodologias e células testadas torna-se difícil estabelecer parâmetros de comparação.

Observa-se que em alguns estudos as propriedades físico-químicas dos cimentos modificados são muito próximas do material comercial (ALMEIDA et al., 2018; BAGHDADI et al., 2020). Dentre as inúmeras propriedades avaliadas, as mais frequentes foram tempo de presa (ALMEIDA et al., 2018; BAGHDADI et al., 2020; BAGHDADI et al., 2021; CARVALHO et al., 2021; HUANG et al., 2021; SEUNG et al., 2018; VILELA et al., 2019), escoamento (ALMEIDA et al., 2018; BARAS et al., 2019a; BARAS et al., 2019; CARVALHO et al., 2021; SEUNG et al., 2018), solubilidade (BAGHDADI et al., 2021; CARVALHO et al., 2021; SEUNG et al., 2018), pH (ALMEIDA et al., 2018; BAGHDADI et al., 2020; BAGHDADI et al., 2021; CARVALHO et al., 2021), liberação de íons (BARAS et al., 2019; BARAS et al., 2019; COLOVIC et al., 2019), radiopacidade (ALMEIDA et al., 2018; CARVALHO et al., 2021; HUANG et al., 2021), espessura (HUANG et al., 2021; BARAS et al., 2019).

Quanto a liberação de íons há relatos do aumento na liberação de íons como Ca^{+2} (ALMEIDA et al., 2018). O cimento endodôntico com dimetilaminohexadecil metacrilato com metacriloiloxietil fosforilcolina teve liberação de íons Ca e P ligeiramente menor, mas não significativamente menor, em comparação com o sem DMAHDM + MPC. O cimento com 20% de nanopartículas de fosfato de cálcio (NACP) e DMAHDM a 5% apresentaram níveis relativamente altos de liberação de íons Ca e P necessários para a remineralização (WANG et al., 2017).

Em relação ao pH a adição das nanopartículas propostas resultou em pH alcalino (ALMEIDA et al., 2018; BAGHDADI et al., 2020). No geral o tempo de presa, escoamento, radiopacidade, sorção de água, adesividade e solubilidade foram adequados para os materiais (ALMEIDA et al., 2018; BAGHDADI et al., 2020; BAGHDADI et al., 2021; BARAS et al., 2019(a); CARVALHO et al., 2021; COLOVIC et al., 2019; HUANG et al., 2021; WANG et al., 2017; BARAS et al., 2019 (b); SEUNG et al., 2018; VILELA et al., 2019). Entretanto, alguns resultados insatisfatórios também foram encontrados a saber: no estudo CARVALHO et al., (2021), o tempo de presa do AH plus aumentou e o MTA não atingiu a presa em nenhuma das condições testadas.

No estudo de Carvalho et al. (2021) a incorporação de nanopartículas resultou diminuição do escoamento e também aumento da solubilidade. Os cimentos incorporados com Vanadato incorporado à nanopartículas de prata (AgVO₃) e AH Plus apresentaram tempo de presa menor que o grupo controle. Para o Sealer 26 e Endometasona N, a incorporação de AgVO₃ aumentou o tempo de presa em relação ao grupo controle (VILELA et al., 2019).

Nos testes de resistência, a incorporação de nanotubos de carbono de paredes múltiplas e carboneto de titânio resultou num aumento significativo na resistência à compressão do Bioroot RCS (BAGHDADI et al., 2021). O cimento Epóxi em associação com beta-tricálcio fosfato ou N-Acetilcisteína apresentou melhor resistência de união enquanto o agregado de trióxido mineral apresentou menor adesão (CAMARGO et al., 2019). Outra questão avaliada nos estudos foi a morfologia, sendo que o nanomaterial com o menor tamanho de partícula e com a menor porcentagem foi distribuído de forma mais homogênea na matriz Bioroot (BAGHDADI et al., 2020).

7. CONCLUSÃO

Os resultados do estudo atual sugerem que a incorporação de nanopartículas nos cimentos endodônticos é promissora. Apesar de alguns estudos não trazerem mudanças significativas nos resultados finais com a incorporação das nanopartículas, na maioria dos estudos há um aprimoramento das propriedades com a funcionalização dos cimentos com nanopartículas. Mas estes resultados precisam ser avaliados com cautela uma vez que todos os estudos são *in vitro*. Sendo assim, pesquisas futuras precisam ser desenvolvidas para avaliar as propriedades de cimentos endodônticos nanoparticulados quando utilizados *in vivo*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RAHEEM, I. A. A. *et al.* Design, Evaluation And Antimicrobial Activity Of Egyptian Propolis-Loaded Nanoparticles: Intrinsic Role As A Novel And Naturally Based Root Canal Nanosealer. **International journal of nanomedicine**, [s. l.], v. 14, p. 8379-8398, 2019.

ALMEIDA, L. H. S. *et al.* Synthesis of silver-containing calcium aluminate particles and their effects on a MTA-based endodontic sealer. **Dental materials**, v. 34, n. 8, p. 214-223, 2018.

BAGHDADI, I. *et al.* Physiochemical properties of a bioceramic-based root canal sealer reinforced with multi-walled carbon nanotubes, titanium carbide and boron nitride biomaterials. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, [s. l.], v. 110, p. 103892, 2020.

BAGHDADI, I. *et al.* Effect of sintering temperature on the physiochemical properties, microstructure, and compressive strength of a bioceramic root canal sealer reinforced with multi-walled carbon nanotubes and titanium carbide. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, [s. l.], v. 119, p. 104524, 2021.

BARAS, B. H. *et al.* Novel bioactive root canal sealer with antibiofilm and remineralization properties. **Journal of dentistry**, [s. l.], v. 83, p. 67-76, 2019.

BARAS, B. H. *et al.* Novel endodontic sealer with dual strategies of dimethylaminohexadecyl methacrylate and nanoparticles of silver to inhibit root canal biofilms. **Dent Mater**, [s. l.], v. 35, n. 8, p. 1117-1129, 2019.

CAMARGO, C. H. R. *et al.* Incorporating N-acetylcysteine and tricalcium phosphate into epoxy resin-based sealer improved its biocompatibility and adhesiveness to radicular dentine. **Dent Mater**, [s. l.], v. 35, n. 12, p. 1750-1756, 2019.

CARVALHO, N. K. *et al.* Antibacterial, biological, and physicochemical properties of root canal sealers containing chlorhexidine-hexametaphosphate nanoparticles. **Dental Materials**, [s. l.], v. 37, n. 5, p. 863-874, 2021.

COLOVIC, B. *et al.* A new endodontic mixture based on calcium aluminate cement obtained by hydrothermal synthesis. **Ceramics International**, [s. l.], v. 45, n. 7, p. 9211-9218, 2019.

HUANG, G. *et al.* A novel bioactive glass-based root canal sealer in endodontics. **Journal of dental sciences**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 217-224, 2022.

LENG, D. *et al.* The Antibiofilm Activity and Mechanism of Nanosilver- and Nanozinc-Incorporated Mesoporous Calcium-Silicate Nanoparticles. **International journal of nanomedicine**, [s. l.], v. 15, p. 3921-3936, 2020.

LOYOLA-RODRÍGUEZ, J. P. *et al.* antimicrobial activity of endodontic sealers and medications containing chitosan and silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis*. **Journal of applied biomaterials & functional materials**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 3, 2019.

SEUNG, J. *et al.* A Modified Resin Sealer: Physical and Antibacterial Properties. **Journal of endodontics**, [s. l.], v. 44, n.10, p. 1553-1557, 2018.

VILELA, A. B. T. *et al.* Endodontic Sealers Modified with Silver Vanadate: Antibacterial, Compositional, and Setting Time Evaluation. **BioMed research international**, [s. l.], v. 2019, p. 1-9, 2019.

WANG, L. *et al.* Novel bioactive root canal sealer to inhibit endodontic multispecies biofilms with remineralizing calcium phosphate ions. **Journal of dentistry**, [s. l.], v. 60, p. 25-35, 2017.