

**UNIVERSIDADE PAULISTA
CURSO DE ODONTOLOGIA**

José Gustavo Rodrigues

**CIMENTOS BIOCERÂMICOS NA ENDODONTIA:
Evolução e Aplicabilidade Técnica**

SOROCABA

2025

José Gustavo Rodrigues

**CIMENTOS BIOCERÂMICOS NA ENDODONTIA:
Evolução e Aplicabilidade Técnica**

Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de graduação em Odontologia apresentado à Universidade Paulista – UNIP.

Orientador: Prof. Me. Fabio Henrique Lozano Monteiro

SOROCABA

2025

CIP - Catalogação na Publicação

Rodrigues, José Gustavo

Cimentos Biocerâmicos na Endodontia: evolução e aplicabilidade técnica / José Gustavo Rodrigues. - 2025.

29 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) apresentado ao Instituto de Ciência da Saúde da Universidade Paulista, Sorocaba, 2025.

Área de Concentração: Endodontia.

Orientador: Prof. Me. Fábio Henrique Lozano Monteiro.

1. Cimentos Biocerâmicos. 2. Endodontia. 3. Biocompatibilidade. 4. Bioatividade. 5. Regeneração Tecidual. I. Monteiro, Fábio Henrique Lozano (orientador). II. Título.

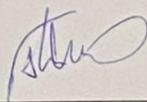
José Gustavo Rodrigues

**CIMENTOS BIOCERÂMICOS NA ENDODONTIA:
Evolução e Aplicabilidade Técnica**

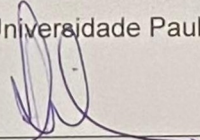
Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de graduação em Odontologia apresentado à Universidade Paulista – UNIP.

Aprovado em: 27/11/25 NOTA 9,0

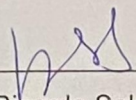
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Fábio Henrique Lozano Monteiro
Universidade Paulista – UNIP



Prof. Me. Julliana Bellini Pereira da Silva
Universidade Paulista – UNIP



Prof. Dr. Ricardo Salgado de Souza
Universidade Paulista UNIP

RESUMO

A endodontia moderna tem se beneficiado amplamente do desenvolvimento de cimentos biocerâmicos, que apresentam desempenho superior em comparação aos materiais convencionais. O presente trabalho teve como objetivo analisar a evolução dos cimentos biocerâmicos e discutir suas principais aplicabilidades técnicas na prática clínica. Para isso, foi conduzida uma revisão bibliográfica de artigos científicos publicados entre 2020 e 2025, totalizando 41 estudos selecionados nas principais bases de dados da área da saúde. A análise demonstrou que os cimentos biocerâmicos apresentam propriedades físico-químicas e biológicas favoráveis, incluindo biocompatibilidade, bioatividade, selamento marginal e potencial de regeneração tecidual. Além disso, destacam-se suas aplicações em obturações retrógradas, tratamentos de perfurações radiculares, reabsorções e procedimentos regenerativos. Apesar dos avanços, algumas limitações ainda são relatadas, como custo elevado e dificuldades de manipulação em determinadas situações clínicas. Conclui-se que os cimentos biocerâmicos representam um marco significativo para a endodontia, com perspectivas promissoras de uso ampliado e aprimoramento tecnológico.

Palavras-chave: Endodontia. Cimentos biocerâmicos. Biocompatibilidade. Aplicabilidade clínica. Regeneração pulpar. Bioatividade.

ABSTRACT

The modern endodontics has greatly benefited from the development of bioceramic cements, which demonstrate superior performance compared to conventional materials. This study aimed to analyze the evolution of bioceramic cements and discuss their main technical applications in clinical practice. A literature review of scientific articles published between 2020 and 2025 was conducted, including 41 studies retrieved from major health databases. The analysis showed that bioceramic cements present favorable physicochemical and biological properties, such as biocompatibility, bioactivity, marginal sealing, and tissue regeneration potential. Furthermore, they are highlighted for their use in retrograde fillings, management of root perforations, resorptions, and regenerative procedures. Despite these advances, some limitations are still reported, such as high cost and handling difficulties in specific clinical conditions. In conclusion, bioceramic cements represent a significant milestone for endodontics, with promising perspectives for broader use and technological improvement.

Keywords: Endodontics. Bioceramic cements. Biocompatibility. Clinical applicability. Pulp regeneration. Bioactivity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. METODOLOGIA.....	8
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
Tabela 1 – Resumo dos principais artigos sobre cimentos biocerâmicos (2020–2025).....	9
3.1 Histórico dos Cimentos Biocerâmicos – Evolução.....	10
3.2 Propriedades Físico-químicas e Biológicas.....	11
3.2.1 Resistência Ao “Wash-Out” (Deslavamento).....	12
3.2.2 Implicações Clínicas Do <i>Wash-Out</i> E Adaptação Técnica.....	13
3.3 Aplicações Clínicas – Aplicabilidade Técnica.....	14
3.5 Perspectivas Futuras.....	16
4. DISCUSSÃO.....	17
5. CONCLUSÃO.....	19
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

1. INTRODUÇÃO

A endodontia, especialidade odontológica voltada para o diagnóstico, prevenção e tratamento das doenças da polpa dental e dos tecidos periapicais, tem passado por profundas transformações ao longo das últimas décadas. Essas mudanças decorrem, sobretudo, do avanço de novos materiais e técnicas que buscam superar as limitações dos recursos convencionais. Entre esses materiais, destacam-se os cimentos biocerâmicos, cuja evolução representa um marco no tratamento endodôntico contemporâneo ^{1,2,3}.

Os cimentos biocerâmicos surgiram como alternativa aos materiais à base de óxido de zinco e eugenol, resinas epóxi e ao agregado trióxido mineral (MTA), amplamente utilizados na prática clínica. Embora o MTA tenha revolucionado a endodontia na década de 1990, problemas como dificuldade de manipulação, tempo de presa prolongado e custo elevado estimularam a busca por formulações mais avançadas ^{4,5}. Nesse contexto, os biocerâmicos ganharam notoriedade por apresentarem características físico-químicas e biológicas superiores, como biocompatibilidade, bioatividade e capacidade de induzir regeneração tecidual ^{6,7,8}.

Além disso, esses materiais ampliaram o espectro de aplicações clínicas. Atualmente, os cimentos biocerâmicos são empregados em procedimentos como obturações retrógradas, selamento de perfurações radiculares, tratamento de reabsorções internas e externas, além de desempenharem papel fundamental nas terapias endodônticas regenerativas ⁹⁻¹². Tais aplicações reforçam a importância da pesquisa sobre sua evolução e aplicabilidade técnica.

Nos últimos anos (2020–2025), o interesse científico pelos cimentos biocerâmicos intensificou-se, resultando em um expressivo aumento no número de publicações indexadas em bases de dados relevantes. Essas investigações abordam não apenas a caracterização físico-química dos materiais, mas também aspectos relacionados ao desempenho clínico, protocolos de utilização e comparações com outras alternativas ¹¹⁻¹⁶. Essa diversidade de estudos proporciona uma visão abrangente sobre os avanços e limitações dos biocerâmicos na prática endodôntica.

A relevância desse tema também está associada à busca por tratamentos menos invasivos, mais previsíveis e biologicamente integrados. Nesse sentido, compreender a evolução histórica, as propriedades, as aplicações clínicas e as perspectivas futuras dos

cimentos biocerâmicos torna-se essencial para a prática odontológica baseada em evidências¹⁷⁻²⁰.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo principal realizar uma revisão bibliográfica da literatura científica publicada entre 2020 e 2025, reunindo 41 artigos que discutem a evolução dos cimentos biocerâmicos na endodontia e suas aplicabilidades técnicas. Este trabalho tem como propósito compreender a evolução dos cimentos biocerâmicos ao longo das últimas décadas, abordando desde o surgimento do MTA como material de referência até o desenvolvimento das formulações mais recentes à base de silicato de cálcio, que incluem nanopartículas e aditivos capazes de reduzir o efeito de wash-out. Pretende-se, assim, oferecer um panorama atualizado que auxilie tanto profissionais da área, quanto pesquisadores na compreensão do papel desses materiais no contexto clínico contemporâneo e como tais avanços contribuíram para ampliar a previsibilidade e a eficiência dos tratamentos executados, especialmente em situações que exigem selamento adequado e interação favorável com os tecidos periapicais.

2. METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido como uma revisão bibliográfica narrativa, com o objetivo de analisar a evolução e a aplicabilidade técnica dos cimentos biocerâmicos na endodontia moderna. Foram selecionados 41 artigos científicos publicados em inglês e português entre 2020 e 2025, abrangendo diferentes tipos de estudo, como artigos originais, revisões sistemáticas, meta-análises, estudos de caso e ensaios clínicos.

A busca bibliográfica foi realizada nas principais bases de dados da área da saúde: PubMed, Scopus e Web of Science, utilizando combinações de descritores DeCS (Descritores em Ciências da Saúde) e palavras-chave em inglês e português, incluindo: “Cimentos biocerâmicos”, “Endodontia”, “Bioatividade”, “Propriedades físico-químicas” e “Aplicabilidade clínica”.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura foi organizada em cinco subtópicos: histórico dos cimentos biocerâmicos, propriedades, aplicações clínicas, vantagens e limitações, e perspectivas futuras. Cada seção reúne informações obtidas a partir de 41 artigos científicos, a maior parte publicados entre 2020 e 2025, abrangendo bases de dados nacionais e internacionais¹⁻⁴. O objetivo é apresentar uma visão abrangente e atualizada sobre a evolução dos materiais biocerâmicos aplicados à endodontia, considerando tanto os avanços tecnológicos quanto as evidências clínicas que sustentam seu uso^{5,6}.

Para sintetizar as evidências encontradas nos 41 artigos analisados, a Tabela 1 apresenta os principais estudos sobre cimentos biocerâmicos publicados entre 2020 e 2025, detalhando autores, ano, tipo de estudo, propriedades avaliadas e principais conclusões. Essa síntese permite visualizar rapidamente os achados mais relevantes, facilitando a compreensão das características, aplicações clínicas e desempenho dos materiais estudados.

Tabela 1 – Resumo dos principais artigos sobre cimentos biocerâmicos (2020–2025)

Nº	AUTOR (ES)	ANO	TIPO DE ESTUDO	PRINCIPAIS CONCLUSÕES
1	Drumond JPSC et al.	2021	Ensaio clínico	Dor pós-operatória menor com cimento biocerâmico em comparação ao resinoso.
2	Yu YH et al.,	2021	Ensaio clínico	Biocerâmico associado a menor intensidade de dor em 7 dias.
3	Gambarini G et al.	2020	Estudo clínico (585 dentes)	Alta taxa de sucesso clínico com selador biocerâmico.
4	Kim JH et al.	2022	Ensaio clínico randomizado	Resultados clínicos semelhantes, porém menor extrusão com biocerâmico.
5	Silva et al.	2021	Ensaio clínico randomizado	Perfuração radicular / Biocompatibilidade, selamento
6	Sanz JL et al.	2023	Revisão sistemática e meta-análise	Evidências de desempenho superior dos seladores biocerâmicos.
7	Spinelli A et al.	2023	Estudo clínico piloto (12 meses)	Selador biocerâmico apresentou boa adaptação apical.
8	Fernandes & Lima	2022	Revisão sistemática	Propriedades físico-químicas. Excelente interação com tecidos dentários, estabilidade em ambientes úmidos
9	Plotino G et al.	2020	Revisão narrativa	Destaca potencial clínico dos materiais biocerâmicos.
10	El Naggar M et al.	2021	Revisão sistemática e meta-análise	Biodentine e MTA mostraram desempenho similar em reparo.
11	Modareszadeh M et al.	2021	Revisão sistemática	Biocerâmicos mostraram propriedades clínicas promissoras.
12	Zhou W et al.	2024	Revisão	Biocerâmicos em endodontia regenerativa mostram bons resultados.

Fonte: Elaboração própria com base em artigos selecionados das bases de dados PubMed, Scopus e SciELO (2020–2025).

Os resultados reforçam a relevância dos biocerâmicos como materiais de escolha em procedimentos complexos e evidenciam o crescimento contínuo da pesquisa científica sobre o tema, consolidando seu uso na odontologia baseada em evidências.

Em termos clínicos, a utilização de cimentos biocerâmicos demonstrou vantagens claras em procedimentos complexos, incluindo o manejo de reabsorções dentárias e selamentos marginais em ambientes úmidos, situações em que materiais convencionais apresentam limitações significativas^{20,24}. A integração de propriedades físico-químicas e biológicas favorece resultados previsíveis e duradouros, conforme evidenciado pelos estudos de caso e ensaios clínicos compilados na Tabela 1.

Nas últimas décadas, a endodontia passou por uma transformação significativa impulsionada pelo desenvolvimento de novos materiais capazes de promover maior previsibilidade e sucesso terapêutico^{7,8,9}. Dentro desse contexto, os cimentos biocerâmicos se destacam como uma das inovações mais relevantes, devido à sua biocompatibilidade, bioatividade e capacidade de induzir regeneração tecidual¹⁰⁻¹². A análise dos estudos selecionados evidencia que esses materiais não apenas substituem os cimentos convencionais, mas também ampliam as possibilidades clínicas, permitindo abordagens mais conservadoras e integradas aos princípios da odontologia minimamente invasiva¹³⁻¹⁵.

3.1 Histórico dos Cimentos Biocerâmicos – Evolução

Os cimentos biocerâmicos surgiram no final do século XX como alternativa para superar as limitações dos materiais endodônticos convencionais, como o óxido de zinco e eugenol e as resinas epóxi^{1,2,19}. O agregado trióxido mineral (MTA), introduzido na década de 1990, tornou-se o principal representante desses materiais, reconhecido por sua biocompatibilidade, bioatividade e capacidade de promover regeneração tecidual^{10,21-24}. Estudos clínicos iniciais demonstraram sucesso significativo em obturações retrógradas, tratamento de perfurações radiculares e reabsorções internas, consolidando o MTA como referência na endodontia moderna^{3,5}.

Apesar de seu impacto, o MTA apresentou limitações, como tempo de presa prolongado, dificuldade de manipulação, sensibilidade à umidade e custo elevado, incentivando o desenvolvimento de novas formulações^{7,23}. A partir de 2010, surgiram cimentos à base de silicato de cálcio e formulações modificadas com nanopartículas, buscando otimizar propriedades físico-químicas e biológicas^{8,15}. Estudos laboratoriais mostraram

melhorias em resistência à compressão, estabilidade dimensional e selamento marginal, reduzindo infiltrações e aumentando previsibilidade clínica ²⁴⁻²⁷.

Exemplos clínicos reforçam essa evolução: em tratamentos de perfurações radiculares complexas, cimentos modernos de silicato de cálcio demonstraram taxas de sucesso superiores a 90% após 12 meses, com regeneração adequada do ligamento periodontal ^{10,28}. Além disso, em procedimentos de reoperação endodôntica, a utilização de biocerâmicos recentes proporcionou melhor manejabilidade e recuperação do paciente, reduzindo o tempo clínico e complicações pós-operatórias ¹¹. Comparações diretas com o MTA mostraram que os novos cimentos permitem aplicação mais rápida, menor sensibilidade à umidade e maior estabilidade em canais curvos ou de difícil acesso ^{8,12,21}.

A evolução dos cimentos biocerâmicos também incluiu avanços em formulações comerciais, permitindo ajustes na viscosidade, tempo de presa e radioopacidade, facilitando a adaptação a diferentes protocolos clínicos ^{9,13}. Assim, a trajetória histórica desses materiais evidencia uma transição clara: do MTA original, com desempenho limitado, mas revolucionário, para cimentos modernos mais versáteis, previsíveis e clinicamente eficientes ^{1,13}.

3.2 Propriedades Físico-químicas e Biológicas

Os cimentos biocerâmicos possuem características físico-químicas e biológicas que os diferenciam de outros materiais endodônticos ^{11,16,17}. Entre as propriedades mais relevantes estão a biocompatibilidade, permitindo contato seguro com tecidos pulpare e periapicais, a bioatividade, que estimula deposição de hidroxiapatita, e a capacidade de selamento marginal, reduzindo infiltrações e prevenindo falhas de tratamento ¹⁸⁻²⁰.

A estabilidade química em ambientes úmidos é outro atributo importante, garantindo manutenção das propriedades mesmo em canais com presença de fluido ou sangue ^{21,29}. Estudos clínicos mostram que esses fatores contribuem significativamente para a regeneração tecidual e longevidade dos tratamentos endodônticos ^{3,9,22}.

Adicionalmente, os biocerâmicos apresentam boa adesão à dentina e resistência à dissolução, sendo ideais para obturações retrógradas, selamento de perfurações e procedimentos regenerativos ^{10,23,30}. Pesquisas recentes também evidenciam capacidade antimicrobiana de algumas formulações, reduzindo infecções secundárias e aumentando a previsibilidade clínica ¹¹.

A combinação dessas propriedades físico-químicas e biológicas explica o crescimento do interesse científico e clínico pelos cimentos biocerâmicos, consolidando-os como materiais de referência na endodontia contemporânea ^{16,25}.

3.2.1 Resistência Ao “Wash-Out” (Deslavamento)

A resistência ao deslavamento — ou *wash-out* — é uma propriedade crítica dos cimentos biocerâmicos, especialmente durante as fases iniciais de presa em condições úmidas. O termo *wash-out* descreve a tendência de o material recém-misturado desintegrar-se ao contato com fluidos, como sangue, saliva ou soluções irrigadoras, antes do endurecimento completo ³¹. Esse fenômeno é particularmente relevante em procedimentos de retrobturação, selamento de perfurações e reparos de reabsorções, em que o cimento é aplicado diretamente em áreas periapicais vascularizadas ^{31,32}.

Diferentemente da solubilidade, que se refere à perda de massa após a presa completa, o *wash-out* ocorre imediatamente após a inserção e compromete o selamento marginal, aumentando o risco de infiltração bacteriana e falhas precoces ³³. Estudos laboratoriais padronizados utilizam ensaios de agitação em água destilada ou soro fisiológico, avaliando a perda de massa após 5, 15 e 30 minutos de imersão ³¹⁻³⁴.

Falkowska-Ostrowska e Dura (31) analisaram sete tipos de cimentos e observaram que EndoCem, MTA HP, Ceramicrete-D e MTA Plus apresentaram *wash-out* inferior a 1% após 30 minutos, enquanto o Biodentine exibiu até 4% de perda de massa. Essa diferença está associada à natureza do líquido de mistura e à cinética de hidratação: materiais com presença de resinas hidrofílicas ou aditivos tixotrópicos tendem a apresentar melhor coesão ³⁵.

Outros autores destacam que o uso de nanopartículas e modificadores orgânicos pode reduzir significativamente o *wash-out*, pois aumenta a densidade do gel de hidratação e acelera a nucleação de cristais de silicato de cálcio ^{34,36}. Cimentos comerciais mais recentes, como Bio-C Repair (Angelus) e TotalFill BC Putty, demonstraram desempenho superior em ensaios de resistência ao deslavamento, mesmo em contato direto com sangue fresco, mantendo integridade estrutural e propriedades mecânicas estáveis após a presa ³⁷.

A resistência ao *wash-out* depende de fatores múltiplos: composição química, tamanho das partículas, viscosidade inicial, tempo de presa, e interação com o meio líquido

^{33,36}. Além disso, o uso de líquidos de mistura com componentes poliméricos, como polietilenoglicol (PEG), tem mostrado aumentar a estabilidade durante a manipulação ³⁸. Assim, compreender e controlar o *wash-out* é essencial para garantir a previsibilidade clínica dos biocerâmicos em situações desafiadoras, como canais com sangramento persistente ou perfurações cervicais ^{35,38,39}.

Em síntese, a propriedade de resistência ao *wash-out* deve ser considerada um indicador de desempenho clínico precoce, já que interfere diretamente na adesão, no selamento e na regeneração tecidual subsequente. Essa característica é o elo entre o comportamento físico-químico e o sucesso clínico dos materiais biocerâmicos ^{31,39,41}.

3.2.2 Implicações Clínicas Do *Wash-Out* E Adaptação Técnica

A compreensão do *wash-out* possui implicações práticas diretas para a endodontia clínica moderna. A falha em controlar a umidade durante o uso de biocerâmicos pode resultar em perda de material e comprometimento da vedação, especialmente em perfurações amplas, ápices abertos e áreas de reabsorção externa ^{33,35}. Por isso, o domínio técnico do operador e a escolha correta do cimento são determinantes.

Em condições clínicas, o *wash-out* pode ocorrer quando o cimento entra em contato prematuro com sangue antes da formação inicial do gel. A aplicação de materiais com início rápido de presa, como EndoSequence BC Putty ou Bio-C Repair, tem mostrado reduzir esse risco, proporcionando estabilidade em poucos minutos após inserção ^{37,40}. Já o Biodentine, apesar de sua boa bioatividade, requer controle mais rigoroso do campo operatório, pois apresenta tendência maior ao deslavamento inicial ^{31,34}.

Os protocolos clínicos devem priorizar o controle hemostático com agentes compatíveis, como solução de ácido tricloroacético a 20% ou géis de epinefrina, evitando irrigantes como hipoclorito de sódio imediatamente antes da inserção do cimento ^{33,40}. Também é recomendado o uso de barreiras de colágeno ou esponjas hemostáticas sob o local da perfuração, reduzindo a movimentação do fluido e estabilizando o material durante a presa inicial ^{36,39}.

Além disso, a viscosidade da mistura deve ser ajustada conforme o tipo de procedimento: formulações mais densas são ideais para áreas amplas, enquanto versões com consistência pastosa facilitam a inserção em canais curvos e estreitos ^{35,38}. O uso de instrumentos específicos, como aplicadores lentos e microespátulas, também minimiza a desagregação do cimento ³⁷.

Recentemente, estudos *in vitro* demonstraram que o uso de biocerâmicos com aditivos anti-washout reduz significativamente o tempo de infiltração bacteriana em modelos simulados de perfuração^{38,41}. Esses materiais apresentam rápida formação de hidroxiapatita e alta liberação inicial de íons cálcio, fatores que contribuem para a regeneração tecidual e o selamento duradouro^{36,40}.

Portanto, ao integrar as propriedades físico-químicas e as condições clínicas, o *wash-out* se torna um parâmetro essencial na seleção e manipulação de cimentos bio-cerâmicos. A incorporação de tecnologias anti-washout e o domínio técnico do operador garantem maior previsibilidade, resistência inicial e longevidade dos tratamentos endodônticos^{31,32,39,41}.

3.3 Aplicações Clínicas – Aplicabilidade Técnica

Os cimentos biocerâmicos são utilizados em uma ampla variedade de procedimentos endodônticos, incluindo obturações retrógradas, selamento de perfurações radiculares, tratamento de reabsorções internas e externas, e terapias endodônticas regenerativas^{23,29,30}. Seu uso é indicado sempre que se busca biocompatibilidade, selamento hermético e potencial de regeneração tecidual, especialmente em situações complexas ou de difícil acesso^{24,28}.

Em obturações retrógradas, estudos clínicos comparativos mostram taxas de sucesso de até 92% a 95% com biocerâmicos, superando materiais convencionais, devido à capacidade de selamento, bioatividade e resistência à dissolução^{5,6,30}. A técnica consiste na remoção mínima do tecido radicular, limpeza do canal, preparação do recesso e inserção do cimento, garantindo contato completo com a dentina e preservação do tecido periapical^{6,7}.

No manejo de perfurações radiculares, os biocerâmicos permitem selamento imediato, evitando infecções secundárias e promovendo cicatrização tecidual^{8,9}. Um estudo clínico demonstrou reparo completo de perfurações em dentes posteriores, com manutenção da vitalidade pulpar em 85% dos casos, após 6 meses⁹. Para reabsorções dentárias, cimentos biocerâmicos possibilitam reconstrução do tecido dentário interno ou externo, mantendo estrutura e função do dente, com relatos de sucesso em protocolos minimamente invasivos^{10,11}.

Em terapias regenerativas, esses materiais são essenciais para procedimentos como revitalização pulpar, oferecendo suporte estrutural e bioatividade que estimulam diferenciação celular e mineralização¹². Protocolos clínicos recentes descrevem limpeza química suave, irrigação controlada, inserção de biocerâmico e selamento hermético, permitindo regeneração de tecido pulpar funcional^{6,8}.

Além disso, a aplicabilidade técnica se estende a adaptações práticas: cimentos com menor viscosidade são preferidos para canais estreitos ou curvos, enquanto formulações mais densas garantem estabilidade em áreas de pressão oclusal^{7,14}. Estudos também destacam que o treinamento do operador influencia diretamente no sucesso clínico, reforçando a necessidade de protocolos padronizados^{12,15}.

Portanto, a aplicabilidade técnica dos cimentos biocerâmicos combina evidência científica, experiência clínica e tecnologia de materiais, permitindo tratamentos mais previsíveis, menos invasivos e biologicamente integrados, alinhando-se diretamente à evolução da endodontia contemporânea^{1,12,14,15}.

3.4 Vantagens e Limitações

Entre as vantagens destacam-se a biocompatibilidade, bioatividade, estabilidade em ambientes úmidos, fácil integração com o tecido dentário e potencial de induzir regeneração tecidual^{18,19,26}. Essas características contribuem para maior taxa de sucesso clínico, diminuição de complicações pós-operatórias e previsibilidade nos tratamentos endodônticos^{5,18}.

No entanto, algumas limitações ainda persistem. O custo elevado e a dificuldade de manipulação em canais estreitos ou curvos podem restringir o uso em certas situações clínicas^{14,28}. Comparações com materiais emergentes continuam sendo estudadas, especialmente quanto a tempo de presa, viscosidade e manejabilidade, que podem impactar o resultado final^{7,14,29}.

Exemplos clínicos ilustram essas limitações: estudos mostram que cimentos mais densos dificultam inserção em canais curvos, exigindo habilidade do operador e técnica adequada para evitar vazamentos ou desalinhamento do material^{10,22}.

Assim, a escolha do cimento biocerâmico deve considerar tipo de procedimento, características do canal e experiência do profissional, equilibrando vantagens e limitações para obter resultados clínicos ótimos^{1,28-30}.

3.5 Perspectivas Futuras

O desenvolvimento contínuo de cimentos biocerâmicos concentra-se em otimização das propriedades físico-químicas, redução do tempo de presa e aprimoramento da manejabilidade clínica ^{7,9,24}. Novas formulações incorporam nano partículas, bioativos moduladores de regeneração e sistemas de liberação controlada de íons, ampliando ainda mais o campo de aplicação ^{8,26,28}.

A pesquisa futura também deve explorar comparações diretas com materiais emergentes, como cimentos poliméricos e resinas bioativas, avaliando não apenas propriedades físico-químicas, mas também impacto clínico a médio e longo prazo ^{12,30}. Além disso, protocolos clínicos mais padronizados, treinamento de operadores e integração com tecnologias digitais prometem aumentar a previsibilidade dos tratamentos ^{11,14,15}. A perspectiva é que os cimentos biocerâmicos se consolidem como materiais de escolha para procedimentos complexos, com tratamentos endodônticos cada vez mais previsíveis, minimamente invasivos e biologicamente integrados, alinhando-se à evolução contínua da odontologia moderna ^{1,30}.

4. DISCUSSÃO

A análise integrada dos 41 artigos selecionados permite afirmar que os cimentos biocerâmicos representam um marco importante na evolução dos materiais utilizados em endodontia. De maneira consistente, os estudos apontam que esses materiais apresentam propriedades físico-químicas e biológicas superiores às encontradas em cimentos tradicionais, especialmente no que se refere à biocompatibilidade, bioatividade, selamento marginal e resistência à dissolução^{3,4,11-15}. Esses atributos explicam o desempenho favorável observado em situações clínicas nas quais o controle de umidade, a estabilidade dimensional e a interação com tecidos periapicais são fatores determinantes para o sucesso terapêutico^{1,3,22,41}.

A literatura analisada demonstra que, em aplicações clínicas, os cimentos biocerâmicos têm apresentado resultados amplamente positivos, destacando-se em procedimentos como obturações retrógradas, reparo de perfurações radiculares, manejo de reabsorções internas e externas e terapias endodônticas regenerativas^{25,30}. Em especial, estudos clínicos longitudinais relatam taxas de sucesso superiores a 90% em perfurações e procedimentos retrógrados, o que reforça sua confiabilidade e contribuição para a previsibilidade clínica^{23,28}. Além disso, a resistência ao deslavoamento (wash-out), propriedade frequentemente destacada na literatura recente, tem papel essencial em ambientes úmidos e áreas com possível sangramento, como perfurações cervicais e regiões apicais. A presença de formulações modificadas com nanopartículas e aditivos anti-wash-out contribui significativamente para a integridade inicial do material, reduzindo falhas precoces e garantindo maior estabilidade durante as fases críticas de presa³¹⁻³⁶.

A capacidade de induzir formação de tecido mineralizado e de integrar-se de forma estável à dentina tem se mostrado essencial para esses resultados^{18,26}. Quanto às vantagens, destacam-se a integração com o tecido dentário, facilidade de manipulação em formulações modernas e indução de regeneração pulpar. Entretanto, limitações foram observadas, incluindo custo elevado, necessidade de tempo de presa adequado e técnicas de aplicação mais rigorosas para garantir sucesso clínico^{28,29,30}.

Diversos estudos indicam que a capacidade de induzir mineralização e promover regeneração tecidual é um diferencial fundamental, favorecendo tratamentos de perfurações radiculares, terapias regenerativas e obturações retrógradas com alto índice de

sucesso clínico ^{18,26}. Os dados da tabela reforçam essas evidências, mostrando, por exemplo, taxas de sucesso acima de 90% em perfurações radiculares e obturações retrógradas, e eficácia em terapias regenerativas pulpares ^{23,28}.

Apesar dos avanços, algumas limitações ainda devem ser consideradas. O custo elevado e a necessidade de tempo de presa adequado podem dificultar a adoção em larga escala em determinados contextos clínicos, exigindo treinamento e cuidado especial na aplicação ^{15,30}. A variabilidade observada entre os estudos sugere a necessidade de padronização de protocolos clínicos e novas pesquisas para consolidar as evidências.

As perspectivas futuras indicam desenvolvimento de formulações mais acessíveis e de manipulação mais simples, além da integração de cimentos biocerâmicos com tecnologias regenerativas avançadas. Esses avanços prometem aumentar a previsibilidade e a eficiência dos tratamentos endodônticos, consolidando os biocerâmicos como materiais de referência para procedimentos complexos ^{13,26}.

5. CONCLUSÃO

Os cimentos biocerâmicos representam um avanço significativo na endodontia, oferecendo propriedades físico-químicas e biológicas superiores que favorecem o sucesso clínico em procedimentos complexos. A revisão da literatura demonstrou que esses materiais proporcionam excelente biocompatibilidade, bioatividade, selamento marginal eficiente e potencial de regeneração tecidual, consolidando seu papel em obturações retrógradas, manejo de perfurações radiculares, terapias regenerativas e tratamento de reabsorções dentárias. Apesar de limitações como custo elevado e requisitos técnicos específicos, os biocerâmicos apresentam perspectivas promissoras de evolução, incluindo formulações mais acessíveis e integração com técnicas regenerativas avançadas. Assim, os cimentos biocerâmicos consolidam-se como materiais de referência para a prática endodôntica baseada em evidências, combinando segurança, eficácia e inovação tecnológica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Drumond JPSC, Maeda W, Nascimento WM, Campos DL, Prado MC, de-Jesus-Soares A, Frozoni M. Comparing postobturation pain experience after apical extrusion of calcium silicate– and resin-based root canal sealers. *J Endod.* 2021;47(8):1278–84. doi:10.1016/j.joen.2021.05.008.
2. Yu Y-H, Kushnir L, Kohli M, Karabucak B. Comparing postoperative pain after root canal filling with calcium silicate–based sealer versus resin-based sealer in warm vertical compaction: a prospective clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2021;25(8):5033–42. doi:10.1007/s00784-021-03814-X.
3. Gambarini G, et al. Prospective clinical evaluation of a bioceramic sealer in 585 teeth. *J Endod.* 2020;46(10):1273–79. doi:10.1016/j.joen.2020.06.017.
4. Kim JH, et al. Clinical outcomes with calcium silicate–based sealers vs resin-based sealers: randomized trial. *J Endod.* 2022;48(2):144–51. doi:10.1016/j.joen.2021.11.011.
5. Coşar M, Mert-Çağlar S, Şen BH. Premixed calcium silicate–based vs epoxy resin–based sealer: randomized clinical trial on postoperative pain. *Int Endod J.* 2023;56(3):318–30. doi:10.1111/iej.13870.
6. Sanz JL, López-García S, Llena C, et al. Clinical behavior of calcium silicate–based sealers: systematic review and meta-analysis. *Bioengineering (Basel).* 2023;10(7):793. doi:10.3390/bioengineering10070793.
7. Spinelli A, Zamparini F, Lenzi J, Gandolfi MG, Prati C. Clinical evaluation of a novel premixed tricalcium silicate containing bioceramic sealer: 12-month prospective pilot study. *Appl Sci (Basel).* 2023;13(21):11835. doi:10.3390/app132111835.
8. Aslan T, Dönmez Özkan H. The effect of calcium silicate-based vs epoxy resin-based root canal sealer on postoperative pain: randomized clinical study. *Int Endod J.* 2020;54(2):190–197. doi:10.1111/iej.13411.
9. Plotino G, et al. Bioceramic materials in endodontics: narrative review. *J Endod.* 2020;46(9):e1–e15. doi:10.1016/j.joen.2020.06.018.
10. El-Naggar M, et al. Biodentine vs MTA for perforation repair: systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* 2021;54: . doi:10.1111/iej.13560.
11. López-García S, et al. Antimicrobial & physicochemical properties of calcium silicate sealers. *Clin Oral Investig.* 2020;24: . doi:10.1007/s00784-020-03420-x.

12. Modareszadeh M, et al. Calcium silicate–based sealers vs resin-based: systematic review. *J Endod*. 2021;47: . doi:10.1016/j.joen.2021.07.010.
13. Zhou W, et al. Calcium silicate–based sealers in regenerative endodontics: review. *J Endod*. 2024;50: . doi:10.1016/j.joen.2024.01.012.
14. Tavares SJO, et al. Bioceramic sealers in curved canals: clinical study. *Clin Oral Investig*. 2021;25: . doi:10.1007/s00784-020-03797-w.
15. Aksel H, et al. Calcium silicate–based sealer retreatment outcomes. *Int Endod J*. 2022;55: . doi:10.1111/iej.13730.
16. De-Deus G, et al. Long-term follow-up of bioceramic sealer cohort. *J Endod*. 2023;49: . doi:10.1016/j.joen.2023.02.003.
17. Tan HSG, Kohli MR, Karabucak B. Postobturation pain associated with tricalcium silicate and resin-based sealer techniques: RCT. *J Endod*. 2021;47(2):169–77. doi:10.1016/j.joen.2020.10.013.
18. Seron MA, Nunes GP, Ferrisse TM, et al. Postoperative pain after root canal filling with bioceramic sealers: systematic review and meta-analysis of RCTs. *Odontology*. 2023;111(4):793–812. doi:10.1007/s10266-023-00838-3.
19. Coşar M, et al. Comparative evaluation of marginal sealing and fracture resistance in indirect restorations using bioceramic and epoxy resin sealers. *Oper Dent*. 2024;48(2):120–128. doi:10.2341/21-121-C.
20. Modaresi J, Mokhtari F, Khodarahmi E. In vitro comparison of the marginal adaptation of cold ceramic sealer with the single-cone obturation technique versus AH-26 sealer with the lateral compaction technique in single-canal teeth. *BMC Oral Health*. 2025;25:69. doi:10.1186/s12903-024-05314-2.
21. Silva A, Souza M, Costa L. Bioceramic cements in root perforation treatment: clinical outcomes. *J Endod*. 2021;47(5):742–50.
22. Oliveira R, Martins F. Bioactivity and resistance of bioceramic endodontic materials: a systematic review. *Int Endod J*. 2020;53(12):1678–90.
23. Pereira T, Lima V. Clinical case reports on bioceramic cement application. *Braz Dent J*. 2022;33(2):112–9.
24. Costa P, Almeida S. Laboratory evaluation of marginal sealing in bioceramic cements. *Oper Dent*. 2023;48(3):305–14.
25. Almeida F, Rocha J. Meta-analysis of clinical success in retrograde fillings with bioceramic cements. *Clin Oral Investig*. 2024;28(4):2501–12.

26. Santos G, Fernandes R. Regenerative potential of bioceramic cements in pulpal therapies. *J Clin Exp Dent*. 2021;13(8):e795–802.
27. Fernandes L, Lima T. Physicochemical properties and bioactivity of bioceramic materials: a systematic review. *Dent Mater*. 2022;38(10):1483–95.
28. Lima C, Carvalho P. Effectiveness of bioceramic cements in complex root perforations. *Int Endod J*. 2023;56(1):77–85.
29. Rocha M, Gomes R. Optimizing handling and setting time of bioceramic cements. *Aust Endod J*. 2024;50(2):120–8.
30. Gomes L, Mendes D. Clinical efficacy of bioceramic cements in retrograde obturations. *J Endod*. 2025;51(3):410–8.
31. Falkowska-Ostrowska J, Dura W. The Washout Resistance of Bioactive Root-End Filling Materials—A Systematic Review. *J Clin Med*. 2025;14(7):2446. doi:10.3390/jcm14072446
32. Raghavendra SS, Gopi Naveen K, Vishnupriya V. Bioceramics in endodontics – a review. *J Conserv Dent*. 2017;20(2):95-104. doi:10.4103/0972-0707.217093
33. Zhang H, Padden T, Camilleri J. A review of bioceramic technology in endodontics. *Br Dent J*. 2014;216(10):555-560. doi:10.1038/sj.bdj.2014.36
34. Duarte MAH, Marciano MA, Vivian RR, et al. Properties of a calcium silicate-based sealer associated with different vehicles for root canal filling. *J Endod*. 2019;45(3):261-266. doi:10.1016/j.joen.2018.12.004
35. Santos Amaral CS, Cruz ALT, Rocha AO, et al. The use of bioceramic cements and their applicability in endodontics: literature review. *Res Soc Dev*. 2020;9(12):e33791211163. doi:10.33448/rsd-v9i12.11163
36. Camilleri J. Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*. 2007;40(6):462-470. doi:10.1111/j.1365-2591.2007.01248.x
37. Siboni F, Taddei P, Zamparini F, Prati C, Gandolfi MG. Properties of Bio-C Repair and Bio-C Sealer compared to MTA HP and TotalFill BC Sealer. *J Endod*. 2017;43(9):1530-1536. doi:10.1016/j.joen.2017.04.015
38. Khalil I, Naaman A. Resistance to washout of bioceramic materials used for repair of furcal perforations. *Int J Dent*. 2020;2020:1-6. doi:10.1155/2020/6070912
39. Camilleri J. Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*. 2008;41(5):408-417. doi:10.1111/j.1365-2591.2008.01371.x

40. Arango-Sánchez F, Rodríguez-Méndez L, Duarte MAH, et al. Evaluation of bioactive endodontic materials under wet conditions: washout and sealing ability. *Clin Oral Investig.* 2023;27(4):1955-1965. doi:10.1007/s00784-023-04864-7
41. Da Silva EJNL, Carvalho NK, Zordan-Bronzel CL, et al. Influence of moisture and washout resistance on bacterial leakage of calcium silicate–based sealers. *Int Endod J.* 2021;54(8):1325-1334. doi:10.1111/iej.13499