FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mariana Fundo Meirinho

Associação de Abordagens Minimamente Invasivas no Tratamento da Cárie Dentária - *Revisão Sistemática*

Association of Minimally Invasive Approaches in the Treatment of Dental Caries - *A Systematic Review*

Dissertação de Monografia apresentada à Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Porto, 2025



Associação de Abordagens Minimamente Invasivas no Tratamento da Cárie Dentária - *Revisão Sistemática*

Área Científica: Dentisteria Operatória

Autora: Mariana Fundo Meirinho

Aluna do 5º ano do Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Número de Estudante: 202102841

O Orientador: Prof. Doutor João Ricardo Cardoso Ferreira

Professor Auxiliar Convidado da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

Porto, 2025

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho aos meus amados pais,

***Maria** e **Alcino**,*

*e ao meu irmão, **Manuel**,*

os pilares da minha vida,

e os comandantes de todos os meus sonhos,

que, sob muito sob,

fizeram-me chegar até aqui,

na sombra.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Os agradecimentos que aqui deixo são apenas uma tentativa de expressar a minha gratidão. A verdade é que nenhum texto será suficiente para traduzir tudo aquilo que sinto. As palavras, por mais cuidadas que sejam, ficam sempre aquém da profundidade dos sentimentos que me acompanham neste momento.

Ainda assim, procuro nestas linhas reconhecer, com toda a gratidão que me é possível transmitir, todos aqueles que, de uma forma ou de outra, marcaram este percurso. Cada gesto, cada palavra de incentivo, cada presença silenciosa teve um papel importante para mim e para que esta etapa se concretizasse.

Às luzes dos meus olhos: aos meus amados papis, Maria e Alcino, e ao meu irmão, Manu. São as jóias mais preciosas da minha vida, e iluminam cada minuto que vivo, pela sua simples existência. Sempre acreditaram em mim, muito mais do que eu o fazia, e por isso, é mais fácil ser corajosa quando sei que estão ao meu lado. Os meus pais, que são o coração por trás de cada uma das minhas conquistas, e o maior exemplo que eu tenho na vida. Tenho em mim uma profunda gratidão por ser vossa filha e irmã, e tudo o que sou hoje, e tudo o que serei, inteiramente, vos devo. Que este trabalho vos devolva, ainda que em parte, o amor, o esforço e a fé que sempre me deram. É para vocês. Sempre.

Ao meu orientador, o Professor Doutor João Ricardo Cardoso Ferreira, por ter aceitado desde o primeiro momento entrar comigo nesta jornada, pelo seu apoio e paciência incansáveis e por toda a sabedoria que me transmitiu ao longo desta caminhada. Além de ser uma referência para mim enquanto profissional, é, sem dúvida, também um exemplo como pessoa. Agradeço-lhe, profundamente, por todo o apoio ao longo deste processo marcante na minha vida académica.

Aos meus avós. Ao meu avô Manuel, por ter sempre uma palavra sábia e de conforto a dizer, por ser tão bondoso, generoso e meu amigo. Obrigada por todos os telefonemas e palavras de ânimo, meu querido avô.

À minha avó Amélia, por ser minha amiga. Obrigada pelas conversas e pelas receitas, não só de comida, mas da vida. As tuas sopas e até aquele arroz-doce que só tu sabes fazer, são memórias que levo comigo. Obrigada, avó.

À minha querida avó Maria. Guardar-te-ei eternamente no meu coração e na minha memória, com eterna saudade.

À minha querida tia Carminda, que sempre me ouviu e sempre me incentivou a lutar pelos meus sonhos. Sempre me levantou a cabeça com palavras de coragem e força, mas acima de tudo, de fé, quando os momentos eram mais

difíceis e complicados. Foste, e para mim sempre serás, um apoio fundamental na minha vida, minha tia.

Ao teu querido tio Daniel.

Ao meu afilhado, Gabriel, e aos meus padrinhos, Cláudia e Chico.

Ao Senhor Jaime. Um obrigado nunca bastará.

Aos meus vizinhos do Porto, em especial ao meu vizinho João, por estar sempre com um sorriso na cara e por ser meu amigo. Foi como um avô para mim aqui. Nunca me esquecerei vizinho, muito obrigada.

Ao desporto, nas suas variadas formas, que sempre foi o meu refúgio e que me trouxe pessoas incríveis. Obrigada, Rita, por não largares a minha mão (literalmente), não só durante as provas, mas também durante este processo. És uma grande amiga e um exemplo para mim.

À minha binómia, Cris, por estes anos de partilha e entreajuda.

À Cate, por ser minha amiga desde o primeiro dia.

Às funcionárias da clínica da FMDUP, com as quais tive o prazer de conviver e rir durante os anos de clínica. Sem dúvida, tornaram os meus dias mais alegres.

A todos os pacientes que atendi nesta casa e que me incentivaram a ser melhor.

A todos os professores com os mais me cruzei e que me transmitiram conhecimentos.

À Tica, ao Bolt e ao Tarifo, que mesmo sem voz, tanto me deram e tanto me acrescentaram.

A mis compañeros de Erasmus, que siempre me hicieron sentir acogida e incluida, y que convirtieron Salamanca en un hogar durante algunos meses. Me llevaré muchos recuerdos, para siempre. ¡Muchísimas gracias!

A todos que não particularizei, mas que, de alguma forma, me transmitiram ensinamentos e contribuíram para o meu sucesso, e aos que vivenciaram comigo os cinco anos desta desafiante, intensa, mas, acima de tudo, gratificante jornada:

Um bem-haja e o meu profundo e sincero obrigado!

"Porque, para Deus, nada é impossível."

Lucas 1:37

RESUMO

Introdução: Atualmente, a cárie dentária é considerada a doença oral mais prevalente em todo o mundo. É uma doença complexa, crónica e de origem multifatorial, que afeta os tecidos duros dentários, e que se pode apresentar em diferentes estádios. A sua fisiopatologia corresponde a um processo dinâmico, caracterizado por períodos alternados de desmineralização e remineralização. A progressão ou regressão da lesão depende de um equilíbrio entre múltiplos fatores, que incluem não só aspetos patológicos, mas também fatores comportamentais, ambientais, biológicos, além de determinantes sociais e individuais. Quando esse equilíbrio é perturbado a favor da desmineralização, ocorre a perda progressiva de componentes minerais do dente, podendo, eventualmente, evoluir até à sua cavitação.
As abordagens ao tratamento da cárie dentária são, em grande parte, restauradoras, envolvendo a remoção de grandes quantidades de estrutura dentária, o que resulta numa maior perda de tecidos dentários. No entanto, com a evolução dos biomateriais, as abordagens minimamente invasivas surgem como uma alternativa promissora e atraente, enfatizando a máxima conservação da estrutura dentária saudável e consequente resistência biomecânica do dente. Entre essas técnicas, destaca-se a remoção seletiva de tecido cariado como uma alternativa eficaz, uma vez que se baseia na remoção de dentina infetada pelo processo cariogénico, mantendo e preservando a dentina afetada pela cárie para remineralização terapêutica. Paralelamente, a remineralização biomimética, tem-se mostrado uma abordagem inovadora ao promover a regeneração da estrutura dentária através de agentes remineralizantes que mimetizam a estrutura dos tecidos naturais (esmalte e dentina).

Objetivos: Analisar e investigar uma associação entre duas abordagens minimamente invasivas no âmbito da Dentisteria Operatória, nomeadamente a remoção seletiva de tecido cariado com posterior remineralização biomimética, com o intuito de tornar a prática clínica o mais conservadora possível e de forma a auxiliar o Médico Dentista na escolha de técnicas mais adequadas para poupar os tecidos dentários durante o tratamento da cárie dentária.

Materiais e Métodos: A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados *PubMed*, *Scopus* e *Google Scholar*, utilizando como estratégia de pesquisa o PICO. Para a redação do protocolo foi utilizado uma extensão do PRISMA *(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)*. O espaço temporal empregue corresponde aos últimos 10 anos. Para além disso, como critérios de inclusão, foram selecionados artigos disponíveis de forma íntegra, fundamentados e realizados em humanos, assim como escritos em português, inglês e espanhol. Também foram incluídos apenas estudos que abordassem a dentição permanente e que envolvessem lesões de cárie com

cavitação. Esta revisão sistemática foi registada na plataforma PROSPERO sob o número de registo CRD420251057954.

Resultados: Foram incorporados 36 artigos nesta revisão sistemática. O campo de resultados foi dividido em 4 grupos principais: Remoção Gradual/Por Etapas e Remoção Seletiva de Dentina Mole; Remoção Químico-Mecânica; Remoção Seletiva com LASER e Remineralização Biomimética.

Discussão: A remoção por etapas e a remoção seletiva de dentina mole apresentaram baixos índices de exposição pulpar, sendo esta última particularmente vantajosa por permitir o tratamento numa única sessão, com maior conveniência para o paciente. Os métodos químico-mecânicos destacaram-se pelo conforto operatório, aceitação e bons resultados clínicos, mostrando-se especialmente úteis em populações vulneráveis, como crianças e grávidas. A remoção seletiva com LASER revelou-se eficaz na descontaminação e preservação estrutural, embora a necessidade de equipamento específico e formação técnica possa limitar a sua aplicabilidade. A remineralização biomimética consolidou-se como uma estratégia promissora, ao promover a regeneração funcional dos tecidos dentários de forma conservadora e biocompatível. No entanto, apesar dos benefícios evidenciados, a heterogeneidade metodológica dos estudos disponíveis (maioritariamente *in vitro*) limita a extrapolação dos resultados, sendo necessários ensaios clínicos adicionais e com seguimento a longo prazo para consolidar a evidência científica e reforçar a implementação destas abordagens na prática clínica.

Conclusões: As abordagens minimamente invasivas têm cada vez mais um papel de destaque na área da Medicina Dentária Conservadora e refletem uma tendência terapêutica em direção a um cuidado mais conservador e focado na saúde e respeito pelos tecidos duros dentários a longo prazo, promovendo também uma experiência menos traumática para a maioria dos pacientes. Deste modo, a combinação e a integração destas duas estratégias representa um avanço significativo na Dentisteria Operatória, permitindo um tratamento mais conservador e eficiente, promovendo assim a regeneração da estrutura dentária, otimizando não só os desfechos clínicos, como também favorecendo e redefinindo uma prática clínica mais biocompatível e baseada na evidência científica.

Palavras-chave: Cárie Dentária; Técnicas Minimamente Invasivas; Remoção Seletiva; Tecido Cariado; Dentina; Esmalte; Agentes Remineralizantes; Remineralização Biomimética.

ABSTRACT

Introduction: Currently, dental caries is considered the most prevalent oral disease worldwide. It is a complex, chronic, and multifactorial condition that affects the hard tissues of the teeth and can present in various stages. Its pathophysiology corresponds to a dynamic process characterized by alternating periods of demineralization and remineralization. The progression or regression of the lesion depends on a balance between multiple factors, including not only pathological aspects but also behavioral, environmental, and biological factors, as well as social and individual determinants. When this balance is disrupted in favor of demineralization, there is a progressive loss of the tooth's mineral components, which may eventually lead to cavitation.
Caries treatment approaches are largely restorative, involving the removal of significant amounts of tooth structure, which results in further loss of dental tissues. However, with the advancement of biomaterials, minimally invasive approaches have emerged as a promising and attractive alternative, emphasizing the preservation of healthy dental structure and, consequently, the tooth's biomechanical strength. Among these techniques, selective carious tissue removal stands out as an effective alternative, as it focuses on removing dentin infected by the carious process while maintaining and preserving affected dentin for therapeutic remineralization. In parallel, biomimetic remineralization has proven to be an innovative approach by promoting the regeneration of dental structure through remineralizing agents that mimic the natural composition of dental tissues (enamel and dentin).

Purpose: To analyze and investigate an association between two minimally invasive approaches in the field of Operative Dentistry, namely the selective removal of carious tissue followed by biomimetic remineralization, with the aim of making clinical practice as conservative as possible and assisting the dentist in choosing the most appropriate techniques to preserve dental tissues during the treatment of dental caries.

Materials and methods: The literature search was conducted in the *PubMed*, *Scopus*, and *Google Scholar* databases, using the PICO strategy as the search approach. The protocol was drafted following an extension of the PRISMA *(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)* guidelines.The time frame considered corresponds to the last 10 years. Additionally, the inclusion criteria comprised full-text, evidence-based studies conducted in humans, and written in Portuguese, English, Portuguese or Spanish. Only studies that addressed permanent dentition and involved cavitated carious lesions were included. This systematic review was registered on the PROSPERO platform under registration number CRD420251057954.

Results: 36 articles were included in this systematic review. The results were divided into four main groups: Stepwise/Gradual Removal and Selective Removal to Soft Dentin; Chemomechanical Caries Removal; Selective Removal with LASER; and Biomimetic Remineralization.

Discussion: Stepwise removal and selective removal to soft dentin showed low rates of pulpal exposure, with the latter being particularly advantageous as it allows for treatment in a single session, offering greater convenience for the patient. Chemomechanical methods stood out for their operative comfort, patient acceptance, and favorable clinical outcomes, proving especially useful in vulnerable populations such as children and pregnant women. Selective removal using lasers proved effective for decontamination and structural preservation, although the need for specific equipment and technical training may limit its applicability. Biomimetic remineralization has emerged as a promising strategy, promoting functional regeneration of dental tissues in a conservative and biocompatible manner. However, despite the demonstrated benefits, the methodological heterogeneity of the available studies (mostly in vitro) limits the extrapolation of results. Additional clinical trials with long-term follow-up are needed to consolidate scientific evidence and support the implementation of these approaches in clinical practice

Conclusions: Minimally invasive approaches are increasingly gaining prominence in the field of Conservative Dentistry, reflecting a therapeutic trend toward more conservative care that prioritizes the long-term health and preservation of dental hard tissues, while also offering a less traumatic experience for most patients. Thus, the combination and integration of these two strategies represents a significant advancement in Operative Dentistry, enabling more conservative and efficient treatment. This not only promotes the regeneration of dental structure but also optimizes clinical outcomes and contributes to the development of a more biocompatible and evidence-based clinical practice.

Keywords: *Dental Caries; Minimally Invasive Techniques; Selective Removal; Carious Tissue; Dentin; Enamel; Remineralizing Agents; Biomimetic Remineralization.*

LISTA DE ABREVIATURAS

ART: Tratamento Restaurador Atraumático

Asp: Ácido Aspártico

CMC-ACP: Carboximetilcelulose-Fosfato de Cálcio Amorfo

CMCR: Remoção Químico-Mecânica da Cárie

CIVMR: Cimento de Ionómero de Vidro Modificado por Resina

CPP-ACP: Fosfopeptídeo de Caseína-Fosfato de Cálcio Amorfo

EDX: Espectroscopia de Raios X por Dispersão de Energia

ICDAS II: *International Caries Detection and Assessment System*

LASER: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

Micro-CT: Microtomografia Computadorizada

NIR: Radiação Infravermelha Próxima

OCT: Tomografia de Coerência Ótica

PAA: Ácido Poliacrílico

PAsp: Ácido Poliaspártico

PILP: Precursor Líquido Induzido por Polímero

PS-OCT: Tomografia de Coerência Ótica Sensível à Polarização

RC: Resina Composta

SEM: Microscopia Eletrónica de Varrimento

TD: Túbulos Dentinários

TEM: Microscopia Eletrónica de Transmissão

TPP: Tripolifosfato de Sódio

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO 3
1.1. Cárie Dentária 3
1.2. Fisiopatologia da Cárie Dentária 3
1.3. Abordagens ao Tratamento da Cárie Dentária 4
1.3.1. Abordagens Tradicionais 4
1.3.2. Abordagens Minimamente Invasivas 4
1.3.2.1. Remoção Seletiva de Tecido Cariado 5
1.3.2.2. Remineralização Biomimética 5
1.4. Objetivos 6
II. MATERIAIS E MÉTODOS 10
2.1. Formulação da Questão de Investigação 10
2.2. Protocolo para Revisão 10
2.2.1. Fontes de Informação / Esquema de Pesquisa 11
2.2.2. Critérios de Elegibilidade 12
2.3. Gestão de Dados 12
III. RESULTADOS 17
3.1. Técnicas de Remoção Seletiva de Tecido Cariado 34
3.1.1. Remoção Gradual/Por Etapas e Remoção Seletiva de Dentina Mole 34
3.1.2. Remoção Químico-Mecânica 34
3.1.3. Remoção Seletiva com LASER 35
3.2. Remineralização Biomimética 35
IV. DISCUSSÃO 40
4.1. Técnicas de Remoção Seletiva de Tecido Cariado 40
4.1.1. Remoção Gradual/Por Etapas 40
4.1.2. Remoção Seletiva de Dentina Mole 41
4.1.2. Remoção Químico-Mecânica 43
4.1.3. Remoção Seletiva com LASER 47
4.2. Remineralização Biomimética 49
4.3. Limitações do Presente Trabalho 51
V. CONCLUSÕES 56
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61

VII. ANEXOS 67
7.1. Índice ICDAS II 67
7.2. Figuras Referenciadas na Discussão 68
7.3. Figuras Referenciadas na Discussão 69
7.4. Figuras Referenciadas na Discussão 70
7.5. Figuras Referenciadas na Discussão 71
7.6. Figuras Referenciadas na Discussão 72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Estratégia de Pesquisa PICO.....10
Tabela 2: Esquema de Pesquisa.....11
Tabela 3: Critérios de Inclusão e Exclusão.....12
Tabela 4: Remoção Gradual/Por Etapas e Remoção Seletiva de Dentina Mole.....19
Tabela 5: Remoção Químico-Mecânica.....22
Tabela 6: Remoção Seletiva com LASER.....26
Tabela 7: Remineralização Biomimética.....30
Tabela 8: Códigos e Critérios ICDAS II 67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Diagrama do Trabalho de Pesquisa e Seleção 17

Figura 2: Representação Esquemática da Lesão Cariosa Cavitada 68

Figura 3: Estratégias de Remoção para Lesões Cariosas Profundas em Dentes com Polpas Vitais.....68

Figura 4: Micrografias de Microscopia Eletrónica de Varrimento da Dentina Residual (Remoção Químico-Mecânica) 69

Figura 5: Micrografias de Microcopia Eletrónica de Varrimento Ilustrando Aspeto Morfológico da Dentina Afetada por Cárie (LASER Er:YAG).....70

Figura 6: Morfologia da Superfície e Composições Elementares de Amostras Representativas de Dentina Completamente Desmineralizada Caracterizadas por SEM (CMC/ACP) 70

Figura 7: Micrografias de Microscopia Eletrónica de Varrimento (CPP-ACP + TPP)…… 71

Figura 8: Morfologia SEM das Fibras de Colagénio nos Túbulos Dentinários da Dentina em Seção Longitudinal (Asp) 72

Figura 9: Micrografias de Microscopia Eletrónica de Varrimento (com uso de *Biodentine*®).....72

INTRODUÇÃO

I. INTRODUÇÃO

1.1. Cárie Dentária

A cárie dentária é uma doença complexa, crónica, altamente prevalente em todo o mundo e é considerada o principal problema de saúde oral, tendo sido relacionada com uma etiologia multifatorial. [1,2]

É uma doença que afeta os tecidos duros dentários, nomeadamente esmalte e dentina, podendo trazer consequências consideráveis como infeções, inflamação pulpar e perda de peças dentárias se não for tratada atempadamente, bem como consequências estéticas e funcionais. [3,4]

O *International Caries Detection and Assessment System* (ICDAS) é um sistema básico, razoável e baseado na evidência, utilizado para identificar e classificar a doença, tendo por base a inspeção visual dos dentes limpos e secos, sem biofilme bacteriano, que descreve seis estádios de gravidade de cárie, variando desde alterações iniciais visíveis no esmalte até à cavitação extensa na dentina (tabela 8, anexo 7.1). [5]

1.2. Fisiopatologia da Cárie Dentária

A fisiopatologia da cárie dentária corresponde a um processo dinâmico caracterizado por períodos alternados de desmineralização e remineralização, no qual a progressão ou reversão da lesão vai depender do equilíbrio entre fatores patológicos favoráveis à desmineralização (mudança ecológica bacteriana, hidratos de carbono fermentáveis e disfunção salivar) e fatores de proteção benéficos ao processo de remineralização (agentes antibacterianos, função salivar adequada e iões remineralizantes). [6]

Neste processo, que ocorre nos dentes durante toda a vida de um indivíduo, uma população de microrganismos comensais, inicialmente equilibrada num biofilme saudável, é suscetível de ser alterada à medida que o ambiente se torna cada vez mais favorável à microflora acidúrica e acidogénica, por estimulação frequente de hidratos de carbono fermentáveis da dieta. [4]

A mudança resultante na atividade do biofilme provoca desequilíbrio entre estes processos, levando a uma queda do pH do meio oral, que, por sua vez, conduz a uma perda e dissolução de componentes minerais dos tecidos duros dentários, causando lesões na estrutura dentária que podem, eventualmente, levar à cavitação, se for permitida a sua evolução centrípeta. [6]

Sendo uma doença com etiologia multifatorial, existem outros fatores que interferem no seu desenvolvimento e progressão, destacando-se a higiene oral, a presença de flúor na cavidade oral, o nível socioeconómico, o rendimento financeiro, a educação e literacia sobre saúde oral, o estado de saúde geral, a predisposição genética, o uso de certos medicamentos e o acesso aos cuidados de saúde oral. [3]

1.3. Abordagens ao Tratamento da Cárie Dentária

1.3.1. Abordagens Tradicionais

Resultando num elevado custo económico e biológico, a abordagem terapêutica tradicional da cárie dentária é ainda em grande parte restauradora, consistindo em terapias menos conservadoras. [7]

Estas abordagens, que geralmente utilizam brocas rotativas, envolvem a remoção de grandes quantidades de estrutura dentária para eliminar o tecido cariado desmineralizado, bactérias e suas toxinas, de forma a travar o processo de cárie e preparar o dente para reter mecanicamente a restauração e resistir às forças oclusais. Contudo, devido à evolução dos materiais adesivos, atualmente, realizam-se preparos menos invasivos, comparativamente aos convencionais (de Black), o que resulta numa maior conservação da estrutura dentária. Mesmo assim, muitas vezes ainda há a remoção de tecido dentário em excesso, o que continua a ser um desafio. [8,9]

A dor e o desconforto associados às abordagens convencionais e o medo da injeção de anestésico local, que é usado para controlar a dor, podem também desencorajar as pessoas a procurar o tratamento médico-dentário. [9]

1.3.2. Abordagens Minimamente Invasivas

O tratamento da cárie evolui historicamente, e as técnicas minimamente invasivas, que têm evoluído com o desenvolvimento de novos biomateriais, oferecem uma alternativa promissora e atraente para a gestão e tratamento da cárie dentária, enfatizando a máxima conservação da estrutura dentária saudável, mantendo a vitalidade pulpar e desencorajando o uso de procedimentos restauradores convencionais mais invasivos. [7, 10]

Embora, em certas situações, sejam consideradas como um desafio clínico e de difícil aplicação, as abordagens minimamente invasivas têm indicações específicas, cuja eficácia depende de fatores como o risco individual de cárie, o estilo de vida, a extensão e a localização da lesão, o número de superfícies dentárias envolvidas e o tipo de dentição. [8]

1.3.2.1. Remoção Seletiva de Tecido Cariado

A dentina é o tecido mineralizado que forma a maior parte do tecido duro do dente humano, fornecendo suporte ao esmalte, prevenindo, deste modo, fraturas durante a carga oclusal. Também protege a polpa de estímulos microbianos e outros estímulos potencialmente lesivos. [11] É um tecido complexo, constituído por 70% de hidroxiapatite, 20% de matriz orgânica e 10% de água. [11] Embora as fibras de colagénio sejam o principal componente orgânico da dentina, as proteínas não colagenosas e as glicoproteínas (menos de 10% do conteúdo orgânico total) desempenham papéis muito importantes na regulação da mineralização. [11]

É reconhecido, em termos clínicos, que a dentina cariada consiste em duas camadas distintas: a dentina infetada por cárie e a dentina afetada por cárie. [12]

A remoção seletiva de tecido cariado é um tipo de abordagem minimamente invasiva que tem como princípio remover seletivamente o tecido cariado infetado (dentina), deixando a dentina afetada pela cárie para remineralização terapêutica. [3]

Existem diferentes propostas de técnicas para a abordagem minimamente invasiva referente à remoção seletiva de tecido cariado, nomeadamente: [7,4]

- **Remoção gradual/por etapas de dentina** - consiste na remoção de tecido cariado em duas etapas, na primeira, remove-se tecido cariado periférico até dentina firme, deixando dentina mole próxima da polpa, que é selada temporariamente. Na segunda etapa, realiza-se a remoção seletiva da dentina mole e a restauração definitiva. [13]
- **Remoção seletiva de dentina mole** - também conhecida como remoção parcial da cárie, é recomendada para lesões cariosas profundas nos dentes com polpas vitais; [13]
- **Remoção químico-mecânica** - baseia-se na utilização de produtos de diferentes agentes químicos sobre a dentina que provocam o amolecimento do tecido cariado facilitando a sua remoção; [14,15]
- **Remoção seletiva com LASER** - consta na remoção de tecido desmineralizado sem causar danos diretos ao elemento dentário, uma vez que tem uma maior precisão de remoção seletiva. [16, 17]

1.3.2.2. Remineralização Biomimética

Em virtude das características da dentina, o seu processo de remineralização é muito mais complexo e difícil de atingir comparativamente ao do esmalte, tecido duro dentário constituído por 96% de cristais de hidroxiapatite, 3% de água e 1% de componente orgânico (amelogeninas e enamelinas). Esta

diferença pode ser atribuída à menor quantidade de cristais residuais na superfície da dentina, quando existe exposição da matriz orgânica (85 a 90% de colagénio tipo I). [11, 12]

Após remoção seletiva de dentina infetada, que corresponde à primeira camada de dentina que não é fisiologicamente remineralizável e que é caracterizada por extensa desmineralização, degeneração das fibras de colagénio e desnaturação dos odontoblastos, é deixada a dentina afetada pela cárie. Por sua vez, esta é caracterizada por desmineralização intermediária, fibras de colagénio sólidas e odontoblastos ativos e corresponde à camada interna de dentina com mais interesse clínico visto ser fisiologicamente remineralizável. [11, 12, 18]

Nesse sentido, a remineralização biomimética surge como uma técnica minimamente invasiva inovadora que visa a reparação das estruturas mais afetadas, reproduzindo as características de um dente natural, tanto a nível biológico, biomecânico, como funcional e estético. Esta abordagem promove a regeneração da estrutura dentária através de agentes remineralizantes, entre os quais se destacam o CPP-ACP (fosfopeptídeo de caseína com fosfato de cálcio amorfo), o pAsp (ácido poliaspártico), o PAA (ácido poliacrílico), o fluoreto, os biovidros dopados com flúor, os cimentos de silicato de cálcio e o cimento de ionómero de vidro, que mimetizam a estrutura dos tecidos naturais (esmalte e a dentina). [4, 19]

O desenvolvimento de novas técnicas, meios remineralizantes e até de novos materiais restauradores parece ser a abordagem mais promissora para suprimir a desmineralização, melhorar a durabilidade da adesão resina-dentina e a resistência adesiva, controlar as recidivas de cárie muitas vezes associadas aos procedimentos restauradores e promover a remineralização. [20]

1.4. Objetivos

O presente estudo tem como objetivo analisar e investigar uma associação entre duas abordagens minimamente invasivas no âmbito da Dentisteria Operatória, nomeadamente a remoção seletiva de tecido cariado com posterior remineralização biomimética, com o intuito de tornar a prática clínica o mais conservadora possível e de forma a auxiliar o Médico Dentista na escolha de técnicas mais adequadas para poupar os tecidos dentários durante o tratamento da cárie dentária.

MATERIAIS E MÉTODOS

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente revisão sistemática foi realizada de acordo com os critérios de elaboração de revisões sistemáticas e meta-análises da *Cochrane* (*Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* - v.6.3).

2.1. Formulação da Questão de Investigação

Para definir explicitamente a questão de investigação utilizou-se o modelo de estratégia de pesquisa PICO (*Problem, Intervention, Comparison, Outcome*), como demonstra a Tabela 1.

***Tabela 1**. Estratégia de Pesquisa PICO.*

P (*Problem*)	Dentes permanentes com lesão de cárie com cavitação e com necessidade de tratamento restaurador definitivo
I (*Intervention*)	Remoção seletiva de tecido cariado infetado com posterior remineralização biomimética
C (*Comparison*)	Comparação entre a eficácia da associação de abordagens minimamente invasivas e as abordagens tradicionais na preservação dos tecidos dentários e na remoção da cárie dentária
O (*Outcome*)	Viabilidade da utilização e associação de abordagens minimamente invasivas no tratamento da cárie em detrimento das abordagens tradicionais

2.2. Protocolo para Revisão

Para a redação do protocolo foi utilizado uma extensão do PRISMA *(Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)* [21, 22], e registado na plataforma PROSPERO *(International Prospective Register of Systematic Reviews),* sob o número de registo CRD420251057954.

2.2.1. Fontes de Informação / Esquema de Pesquisa

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em janeiro de 2025 nas bases de dados *Pubmed, Scopus* e *Google Scholar*, e foram utilizadas combinações das seguintes palavras-chave: *Minimally Invasive Techniques, Tooth Decay [MeSH], Selective Removal, Carious Lesion [MeSH], Dental Enamel [MeSH], Dentin [MeSH], Tooth Remineralization [MeSH], Biomimetic [MeSH] Analogues, Biomimetic [MeSH] Remineralization.*

Foi utilizado o operador booleano "AND" para a junção dos termos e o espaço temporal empregue corresponde aos últimos 10 anos.

Foram também utilizadas algumas referências de artigos específicos pela relevância da temática abordada nos mesmos.

O esquema de pesquisa está representado na Tabela 2.

Tabela 2. *Esquema de Pesquisa.*

BASE DE DADOS	ESQUEMA DE PESQUISA	FILTROS
Pubmed	"Minimally Invasive Techniques AND Tooth Decay" "Selective Removal AND Carious Lesion" "Biomimetic Remineralization AND Dentin"	"Free full text", "Humans", "English", "Portuguese", "Spanish", "10 years"
Scopus	"Minimally Invasive Techniques AND Dental Caries" "Selective Removal AND Dentine" "Biomimetic Remineralization AND Dental Enamel AND Dentin"	"All open access", "English", "Spanish", "10 years"
Google Scholar	"Tooth Remineralization AND Biomimetic Analogues"	"10 years"

2.2.2. Critérios de Elegibilidade

Foi utilizado o modelo PICO para auxiliar na busca da questão de investigação. Os critérios de inclusão e exclusão presentes na Tabela 3 permitiram fazer uma triagem dos artigos.

Tabela 3. *Critérios de Inclusão e Exclusão.*

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO
Artigos disponíveis de forma íntegra	Artigos sem acesso livre a texto completo
Tipos de estudo: *Systematic Review, Meta-Analysis, Randomized Controlled Trial, Review, Comparative Study, Observational Study, Journal Article, Classical Article*	Tipos de estudo: *Clinical Study, Case Report*
Artigos escritos em português, inglês e espanhol	Artigos que não incluam tratamento minimamente invasivo
Fundamentados em humanos	Fundamentados em animais
Dentição permanente	Dentição decídua
Artigos que incluam lesões de cárie com cavitação	Artigos que incluam lesões de cárie sem cavitação
Artigos que incluam combinações de técnicas minimamente invasivas	Artigos que incluam abordagens com vernizes e pastas de flúor, selantes de fissuras, microabrasão, infiltração com resina de metacrilatos e branqueamento dentário

2.3. Gestão de Dados

Por fim, os dados referentes aos artigos encontrados foram organizados num fluxograma, de acordo com as diretrizes PRISMA, evidenciando as razões pelas quais os artigos foram excluídos da análise.

Após ter sido feita a pesquisa com base nos critérios de inclusão e exclusão, foram recolhidos todos os artigos com o auxílio do programa *Endnote X21* versão 21.5 (*Clarivate Analytics,* Pensilvânia, Estados Unidos da América), que foi responsável pela gestão das referências e remoção das duplicatas através da comparação dos resultados gerados pelas bases de dados, assim como também serviu de base de armazenamento para os artigos e os seus textos completos.

A extração final dos dados dos artigos foi efetuada no *Microsoft Office Word 365* versão 2409 (*Microsoft Corporation*, Washington, Estados Unidos da América), em que, para cada artigo foi extraído: autores, ano de publicação, grupos de estudo, metodologia, resultados e comentários relevantes.

Depois de obtidos os artigos de interesse sem duplicatas, estes foram sujeitos a outro momento de triagem *(screening)* através da leitura do título, *abstract* e, posteriormente, pela sua leitura integral, de modo a que, no final, se tenham obtido todos os estudos que se ajustem ao método PICO.

O risco de viés foi analisado para todos os artigos utilizados por dois avaliadores independentes, estando no final toda a informação organizada numa tabela.

De modo a estabelecer possíveis comparações entre a eficácia da associação de abordagens minimamente invasivas e as abordagens tradicionais na preservação dos tecidos dentários e na remoção da cárie dentária, dentro de cada artigo, ou entre artigos, foram excluídos quaisquer estudos que abordassem estratégias com vernizes e pastas de flúor, selantes de fissuras, técnicas de microabrasão, infiltração com resina de metacrilatos e procedimentos de branqueamento dentário.

RESULTADOS

III. RESULTADOS

Da pesquisa inicial, e após a aplicação de todos os filtros, obteve-se um total de 555 artigos potencialmente elegíveis: 253 da base de dados *PubMed*, 172 da *Scopus* e 130 do *Google Scholar.*

Com a remoção de artigos duplicados resultaram 486 artigos e, após uma triagem inicial, 388 foram excluídos pela leitura dos títulos e resumo dos artigos, restando 98 para análise do texto na íntegra.

A análise completa desses artigos levou à inclusão de 51 artigos nesta revisão sistemática. A partir das suas referências bibliográficas, recolheram-se mais 9 artigos com relevância e que foram adicionados após uma busca manual.

Finalmente, esta revisão sistemática integrou 60 artigos, como é representado na Figura 1.

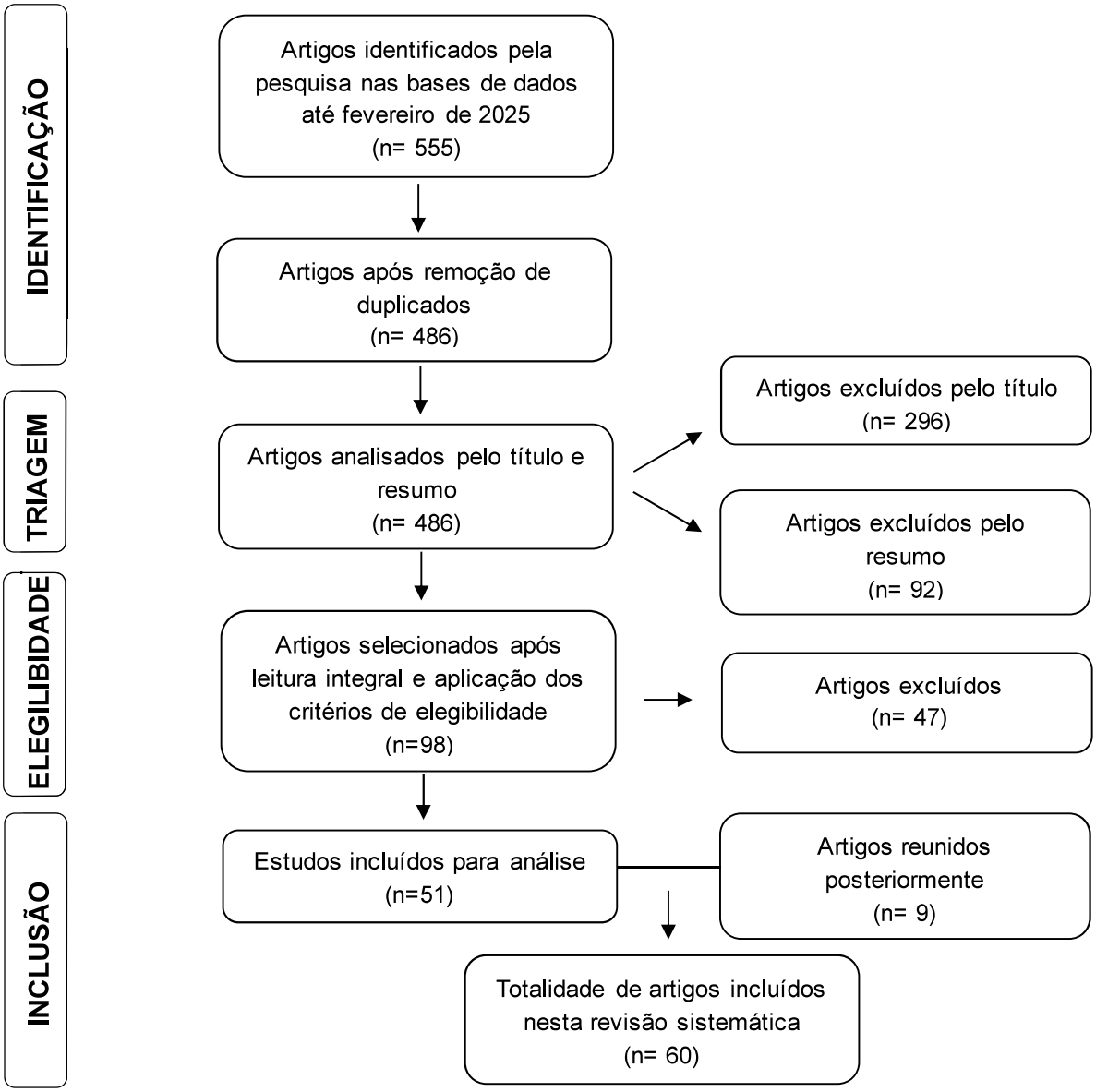


Figura 1. *Diagrama do Trabalho de Pesquisa e Seleção.*

Nas tabelas seguintes (tabelas 4,5,6,7) estão apresentados os resultados dos artigos considerados mais relevantes, não estando incluídos artigos de revisão sistemática e bibliográfica, *case reports*, nem dissertações de mestrado.

Através da leitura das mesmas, podem ser consultados os autores dos artigos, o ano de publicação, os grupos do estudo, a metodologia utilizada e os resultados acompanhados com comentários.

A abordagem ao tema da presente revisão sistemática foi dividida nos grupos e subgrupos mais pertinentes e relevantes:

- Técnicas de Remoção Seletiva de Tecido Cariado:
  - Remoção Gradual/Por Etapas e Remoção Seletiva de Dentina Mole;
  - Remoção Químico-Mecânica;
  - Remoção Seletiva com LASER;
- Remineralização Biomimética.

Tabela 4. *Remoção Gradual/Por Etapas e Remoção Seletiva de Dentina Mole.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Labib *et al*, 2019 (23)	115 participantes (18-47 anos) com 132 dentes com lesões de cárie profunda (oclusais ou ocluso-proximais, >2/3 de extensão de dentina), com polpas sensíveis. **G1: remoção seletiva de dentina mole.** **G2: remoção por etapas.**	**G1:** remoção completa da dentina infetada nas áreas periféricas, mantendo uma camada de dentina afetada no aspeto pulpar e restauração definitiva na mesma sessão. **G2:** remoção parcial e restauração provisória, com reentrada após 3-4 meses para remoção da dentina remanescente e restauração definitiva.	Parâmetros avaliados: - Exposição pulpar: **G1** (7 casos), **G2** (5 casos). - Vitalidade pulpar: **G1** (93–95%), **G2** (87–90%). - Sucesso clínico aos 12 meses: **G1** (89,4%), **G2** (84,9%). -Tempo médio estimado livre de complicações: **G1** (tempo médio 23 meses) e **G2** (tempo médio 18 meses). - Sem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. - Ambos os grupos com cerca de 90% de sucesso restaurador.
Bjørndal *et al*, 2017 (24)	239 adultos com lesões de cárie profundas que se estendiam até à porção mais interna da dentina e com uma zona radiopaca bem definida entre a cárie e a polpa. **G1: remoção por etapas.** **G2:** remoção não seletiva até dentina dura.	**G1:** remoção parcial de dentina infetada, mantendo uma camada de dentina junto à polpa (1ª sessão), selamento provisório e reentrada após 2-3 meses para remoção complementar e restauração definitiva (2ª sessão). **G2:** remoção total até dentina dura e restauração numa única sessão.	Parâmetros avaliados: - Sucesso clínico: **G1** (60,2%) > **G2** (46,3%). - Exposição pulpar: **G1** (21,2%) < **G2** (35,5%). - Prognóstico melhor em **G1** para casos com exposição pulpar.
Bitello-Firmino *et al*, 2018 (25)	Pacientes com lesões cariosas ativas num molar permanente. **G1: remoção seletiva de dentina.** **G2:** remoção completa de cárie. Grupo de controlo.	Lesões divididas em metades na direção vestíbulo-lingual. Após a remoção de dentina, uma amostra de dentina mesial foi retirada para análise microbiológica, a cavidade foi selada e após 3 meses os pacientes foram examinados. A lesão foi reaberta e uma amostra de dentina foi retirada da metade distal da cavidade. Amostras cultivadas para quantificar microrganismos viáveis totais: espécies de *Streptococcus*, *Streptococcus mutans* e espécies de *Lactobacillus*.	Após intervenção: - Microrganismos viáveis totais: **G2** (2,3 ± 0,9 log10 UFC + 1/mg) < **G1** (3,3 ± 0,9 log10 UFC + 1/mg). - Contagens de *Streptococcus spp* **G2** (2,1 ± 1,2 log10 UFC + 1/mg) < **G1** (3,7 ± 1,1 log10 UFC + 1/mg); *Streptococcus spp.* **G2** (0,7 ± 1,0 log10 UFC + 1/mg) < **G1** (1,6 ± 1,4 log10 UFC + 1/mg) e *Lactobacillus spp.* **G2** (0,7 ± 1,0 log10 UFC + 1/mg) < **G1** (1,5 ± 1,3 log10 UFC + 1/mg), foram significativamente inferiores em **G2.** Após 3 meses de selamento: - Diminuição progressiva da carga microbiana em **G1.** Contagens microbiológicas reduzidas a níveis que não apresentaram diferença estatisticamente significativa quando comparados com **G2.**

Tabela 4. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Maltz *et al*, 2018 (26)	299 molares permanentes com lesões de cárie profunda. **G1: <u>remoção por etapas.</u>** Grupo de controlo. **G2: <u>remoção seletiva de dentina mole.</u>**	**G1:** capeamento pulpar indireto e selamento temporário. Após um período médio de 90 dias, a cavidade foi reaberta para remoção do tecido cariado remanescente, sendo a restauração definitiva realizada. **G2:** após a remoção inicial do tecido cariado, a parede pulpar foi protegida. A restauração definitiva foi realizada na mesma sessão.	Parâmetros avaliados: - Vitalidade pulpar: **G1** (56%) e **G2** (80%) - Análise de sobrevivência: o risco de falha em **G2** foi 62% inferior que no **G1.** - Diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.
Gözetici-Çil *et al* 2023 (27)	135 pacientes com165 lesões de cárie profundas em dentes permanentes, que se estendem radiograficamente por 3/4 da dentina e apresentam resposta positiva ao teste do frio. **G1: <u>remoção seletiva de dentina mole.</u>** **G2:** remoção não seletiva até dentina firme. Grupo de controlo.	**G1:** remoção total da cárie nas paredes periféricas da cavidade, na parede pulpar, a remoção foi interrompida quando a dentina estava firme, não purulenta e sem odor fétido, considerada remineralizável e biologicamente tolerável para a polpa. Desinfeção suave e restauração imediata definitiva. **G2:** remoção total até dentina firme/dura e restauração numa única sessão.	Parâmetros avaliados: - Taxa de sucesso geral: **G1** (98%), **G2** (91%). - Taxa de exposição pulpar durante a escavação: **G1** (3%), **G2** (10%), logo, maior necessidade de tratamentos endodônticos em **G2** (9%) do que em **G1** (2%). Diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. - Em termos de falhas restauradoras (fraturas, descolamento ou infiltração), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, indicando que a qualidade da restauração não foi comprometida pela presença de dentina mole remanescente no grupo mais conservador.
Jardim *et al*, 2020 (28)	Pacientes com molares permanentes com lesão de cárie profunda (≥1/2 da espessura de dentina) e resposta positiva ao teste de frio. **G1: <u>remoção seletiva de dentina mole</u>**. **G2: <u>remoção por etapas.</u>** Grupo de controlo. Posteriormente foram subdivididos conforme o material restaurador (amálgama ou RC).	**G1:** apenas a dentina amolecida foi removida na parede pulpar utilizando instrumentos manuais e restauração definitiva utilizando o sistema de cápsula de amálgama ou RC. **G2:** capeamento pulpar indireto e restauração temporária. Reabertura da cavidade após tempo médio de 90 dias, seguido da remoção da dentina cariada remanescente e obturação de acordo com os mesmos procedimentos descritos para o **G1.**	Parâmetros avaliados: -Técnica de remoção de cárie: taxas de sucesso semelhantes para **G1** (79%) e **G2** (76%), sem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. -Em relação ao material obturador: as restaurações de amálgama e RC mostraram taxas de sobrevida em 5 anos semelhantes, **G1** (75%) e **G2** (83%).

Tabela 4. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Jardim *et al*, 2023 (29)	299 molares permanentes de 233 pacientes inicialmente tratados com lesões de cárie profundas atingindo metade ou mais da espessura da dentina e com resposta positiva ao teste de frio. **G1: remoção seletiva de dentina mole.** **G2: remoção por etapas.**	**G1:** tecido cariado removido das paredes laterais até dentina dura, enquanto na parede pulpar a remoção foi limitada à dentina mole, preservando a dentina afetada para evitar exposição pulpar. Restauração definitiva com amálgama ou RC na mesma sessão. **G2:** capeamento pulpar indireto e restauração temporária. Após um período médio de 90 dias, a cavidade foi reaberta, o tecido cariado remanescente foi removido até dentina dura, e a restauração definitiva foi realizada.	Parâmetros avaliados: - Vitalidade pulpar: taxas de sucesso no **G1** (80%) > **G2** (56%). Houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. - Análise económica: cálculo do custo total de cada tratamento, incluindo os custos associados às falhas (tratamento endodôntico e restauração subsequente), para **G1** (20%) < **G2** (44%), com diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.
Casagrande *et al*, 2017 (30)	477 restaurações realizadas em molares permanentes posteriores vitais com lesões cariosas profundas (metade interna da dentina) de 297 pacientes. **G1: remoção seletiva da cárie**. **G2:** remoção completa da cárie. As restaurações foram realizadas utilizando RC e CIVMR.	**G1:** o tecido cariado foi completamente removido das paredes laterais das cavidades usando brocas redondas. A remoção seletiva de cárie foi realizada com um escavador de dentina, e a remoção de cárie foi interrompida quando a dentina com consistência coriácea foi alcançada. **G2:** o mesmo procedimento das paredes laterais foi realizado na parede pulpar. A ausência de tecido cariado foi confirmada usando uma sonda de ponta romba e a dentina com uma consistência coriácea foi alcançada.	Parâmetros avaliados: - Taxa de sobrevivência geral e taxa anual de falha (das restaurações): 57,9% após 36 meses e 16,7%, respetivamente. - Longevidade das restaurações: não houve diferença estatisticamente significativa entre **G1** e **G2**. - Exposição pulpar: **G2** resultou numa incidência significativamente maior de exposição pulpar. - Material restaurador: dentes restaurados com CIVMR tiveram uma taxa de sobrevivência significativamente menor que os restaurados com RC, com HR de 4,11 (IC 95%: 1,91–8,81).

Tabela 5. *Remoção Químico-Mecânica.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Adham *et al*, 2021 (31)	162 mulheres grávidas, com pelo menos 1 dente posterior com lesão dentinária oclusal, acessível a instrumentos manuais e com dor dentária leve a moderada. **G1:** **gel *Papacárie-Duo*®.** **G2:** ART.	**G1:** gel aplicado na cavidade após limpeza com bolinhas de algodão. Quando ficou turvo, indicou a presença de tecido infetado e após 40 segundos a cavidade foi escavada e o restante gel foi removido. O processo foi repetido até que nenhuma mudança na cor do gel fosse notada. **G2:** escavação realizada usando o instrumento *Darby-Perry.*	Parâmetros avaliados: - Ambos os grupos apresentaram redução significativa no perfil de impacto na saúde oral entre o início do estudo e 6 meses após. No entanto, **G1** teve uma redução 4,03 vezes maior nas pontuações do que **G2**. - Redução da dor: **G1** (81,55%) > **G2** (69,43%). Diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. - Tempo necessário de remoção: **G1** (10,38 (±1,94)) < **G2** (11,56 (±1,62)). - Satisfação imediata: **G1** (9,60) > **G2** (8,00). - Satisfação após 6 meses: **G1** (9,63) > **G2** (8,16).
Gupta *et al*, 2025 (32)	32 crianças (6-15 anos) com uma ou mais lesões de cárie cavitadas, acessíveis a instrumentos manuais. Total de 82 restaurações foram colocadas em molares permanentes. **G1:** **gel *Carie-Care*™.** **G2:** ART.	**G1:** gel aplicado diretamente na lesão cariada por 2 minutos. A cavidade foi lavada, e instrumentos manuais foram usados para escavação suave. **G2:** método mecânico usado para remoção de cáries, com a abertura ampliada da cavidade se necessário.	Parâmetros avaliados: - Não houve diferença significativa no desempenho clínico das restaurações entre os grupos. - O tempo médio necessário para remoção de cárie em **G1** (731,15 ± 197,48 s) foi significativamente maior que em **G2** (596,66 ± 158,96 s). -As classificações na escala de dor foram significativamente maiores em **G2** do que **G1**.
Ali *et al*, 2020 (33)	101 dentes com lesões cariosas profundas, distribuídos entre 86 pacientes. **G1:** **gel *Carisolv*®.** **G2:** brocas rotatórias. Grupo de controlo.	**G1:** gel amoleceu o tecido cariado, sendo depois removido manualmente. **G2:** utilizou-se a técnica convencional de remoção com broca rotativa sem uso de magnificação ou ferramentas adicionais para remoção de cárie.	Parâmetros avaliados: -Taxa de sucesso geral, ou seja, vitalidade pulpar: 61,9% (39 de 63 dentes): **G1** (76,6%; 23 de 30 dentes) > **G2** (48,4%; 16 de 33 dentes). - Impacto do tipo de dente: - Molares: maior taxa de sucesso em **G1**. - Pré-molares: menor taxa de sucesso em **G1**. - Severidade dos sintomas no início: não houve associação significativa com os resultados após 2 anos.

Tabela 5. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Sontakke *et al*, 2019 (34)	60 crianças com lesões cariosas abertas de Classe I em molares permanentes. **G1:** **gel *Carie-Care*™.** **G2:** método convencional de broca.	**G1:** gel aplicado diretamente no dente por meio de uma ponta aplicadora descartável, logo, muda de cor na área afetada. Após 1 minuto, o gel junto com a cárie dissolvida é removido por meio de um instrumento em colher afiado. **G2:** tecido cariado removido completamente até alcançar dentina firme. O procedimento seguiu o protocolo tradicional de remoção total de tecido cariado usando apenas instrumentos mecânicos.	Parâmetros avaliados; - **G2** mostrou um aumento significativo no nível de desconforto em forma de dor em comparação com o **G1**. - Não houve diferenças significativas entre os 2 grupos considerando a preferência do tipo de tratamento, a aceitação geral e a presença de mau cheiro/gosto. - **G1** mostrou um tempo de remoção de cárie ligeiramente superior ao **G2**. - O nível de ansiedade na linha de base, durante e após o tratamento (medido pela escala visual analógica facial) mostrou-se menor em **G1** quando comparado com **G2**.
Elmarakby *et al*, 2025 (35)	60 pré-molares permanentes com cáries profundas (2/3 da espessura da dentina, classe II mesial ou distal), de pacientes entre 14-24 anos. **G1:** broca de polímero- *Smart Preparation Bur II*®. **G2:** **gel *BRIX3000*®.** **G3:** broca de carboneto redonda. Grupo de controlo	**G1:** de acordo com as instruções do fabricante, brocas de polímero foram utilizadas lentamente. **G2:** gel dispensado e aplicado na cavidade, durante 2 minutos. A sua cor foi alterada de transparente para turva e a dentina dissolvida foi retirada com um instrumento em colher não afiado e com movimentos de pêndulo sem pressão. Necessárias 3-4 aplicações do gel. **G3:** brocas de carboneto redondas, que eram apropriadas para o tamanho da lesão, para remover a dentina cariada infetada e afetada.	Parâmetros avaliados: - Consumo de tempo: **G1** (3,2–6,3 min com média 4,75 min), **G2** (2,8–5,8 min com média 4,3 min) e **G3** (2,1–3,7 min com média 2,9 min). - Remoção completa de cáries: **G1** (17,5%); **G2** (15%) e **G3** (22%). - Um pouco de cárie ainda estava presente na base da cavidade: **G1** e **G2** (27,5%) e **G3** (37%). - Uma ou mais paredes e/ou a base continha dentina cariada: **G1** e **G2** (32,5%) e **G3** (35%). - Duas paredes e/ou a base continha dentina cariada: **G1** e **G2** (17,5%) e **G3** (4%). - Mais de duas paredes e/ou a base continham dentina cariada: **G1** (15%), **G2** (7,5%) e **G3** (2%).
Ismail *et al*, 2019 (36)	30 molares permanentes cavitados bilaterais. Cada participante teve 2 molares tratados: **G1:** num lado, gel **BRIX3000®.** **G2:** no lado oposto, broca *Smart Preparation*®. Grupo de controlo.	**G1:** gel na cavidade cariada, seguido de 2 minutos de ação, e remoção do tecido cariado amolecido com instrumentos manuais. **G2:** utilização da broca *Smart Preparation*® *para* remover mecanicamente o tecido cariado.	Parâmetros avaliados: - Contagem bacteriana total: diferença ligeiramente maior em **G1** em comparação ao **G2**. - Reação de dor: **G1** significativamente menor em comparação ao **G2**. - Tempo necessário para a remoção de cárie: **G1** foi significativamente maior que **G2**.

Tabela 5. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Santos *et al*, 2020 (37)	60 molares permanentes com lesões de cárie oclusais (classe I) e presença de lesões de cárie dentinárias profundas ou muito profundas, comprometendo pelo menos 2/3 da dentina mesiodistal, vestíbulo-lingual e oclusocervical. **G1:** broca "padrão-ouro". **G2:** **gel *Papacárie-Duo*®.** **G3**: **gel *BRIX3000*®.**	**G1:** remoção de dentina cariada usando uma broca de carboneto redonda até atingir uma consistência dura da dentina por sondagem. **G2** e **G3**: as cáries de dentina foram cobertas com **gel *Papacárie-Duo*®** por 40 segundos no **G2** e com **gel *BRIX3000*®** por 2 minutos no **G3.** A dentina cariada infetada foi raspada com um instrumento de ponta romba em movimentos pendulares e sem pressão. Os géis foram removidos e em ambos os grupos, foram aplicados 1 vez. A escavação foi realizada até que a remoção completa de tecido cariado fosse confirmada pelo método tátil de deteção.	Parâmetros avaliados: - O tecido cariado foi removido em um tempo menor em **G1** (54,0 segundos). Entretanto, o tempo foi menor para **G3** (85,0 segundos) do que para **G2** (110,5 segundos). - Nos testes de microdureza *Knoop* todas as abordagens testadas foram efetivas: **G1** (47,63±22,40 KHN), **G2** (48,54±16,31 KHN) e **G3** (43,23±13,26 KHN). - **G2** diminuiu a viabilidade celular em comparação com **G3**, mas não apresentou genotoxicidade (os fibroblastos da polpa humana foram utilizados para avaliar a citotoxicidade pela incorporação do corante, e a genotoxicidade foi avaliada com o teste de micronúcleos).
Al-Badri *et al*, 2024 (38)	72 molares permanentes com lesões cariosas oclusais naturais (pontuação > 4 ICDAS-II). **G1:** escavação manual da cárie. **G2:** remoção rotativa da cárie. **G3:** **gel *BRIX3000*®.** **G4:** **gel de Bromelina.** **G5:** **gel de Bromelina- Cloramina-T.** **G6:** **gel de Bromelina-Clorexidina.**	**G1:** escavação manual da cárie com instrumento 1,3 mm de diâmetro até à remoção completa. **G2:** remoção rotativa usando uma broca redonda de aço carbono com movimentos circulares leves. **G3:** gel aplicado por 2 minutos dentro de cada cavidade. A cárie foi removida suavemente com um instrumento em colher não afiado em movimento pendular. O tecido restante foi examinado com uma sonda afiada, e o procedimento foi repetido 2-3 vezes até à remoção completa da cárie. **G4, G5** e **G6:** os géis foram aplicados usando o mesmo procedimento que o **G3.**	Parâmetros avaliados: - Microdureza: **G4**, **G5** e **G6** apresentaram valores mais baixos que os **G1** e **G2**, indicando maior preservação de dentina parcialmente desmineralizada. - Espectroscopia: menor conteúdo mineral e maior matriz orgânica nos grupos CMCR, especialmente nos grupos **G4**, **G5** e **G6.** - Morfologia (SEM): - **G5** melhor limpeza, com túbulos dentinários abertos e sem *smear layer.* - **G2** mostrou a maior quantidade de *smear layer* e túbulos obstruídos. - **G4** teve superfície levemente rugosa com túbulos parcialmente obstruídos. - **G3** resultou numa superfície rugosa com túbulos parcialmente ou totalmente ocluídos. - Preservação do colagénio: a proporção foi mantida em todos os grupos, próxima à da dentina saudável.

Tabela 5. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Al-Sagheer *et al*, 2024 (39)	40 molares humanos cariados de pacientes entre 25-40 anos. A cárie estende-se através da dentina sem exposição da polpa (pontuação 4 ICDAS-II). **G1:** escavação rotativa. **G2:** **gel *BRIX3000*®.** **G3:** abrasão ultrassónica. **G4:** LASER WATERLASE iPlus Er,Cr:YSGG.	**G1:** lesão cariosa removida por uma broca redonda de carboneto de tungsténio com movimentos circulares leves. **G2:** gel dispensado na cavidade e agitado usando um escavador de colher não afiado. Após 2 minutos, a cavidade foi raspada usando a extremidade romba do escavador com movimento pendular sem pressão. O gel foi lavado e o procedimento foi repetido 2-3 vezes até que a cárie fosse removida. **G3:** a cárie foi removida usando as pontas revestidas de diamante acopladas à peça de mão. **G4:** comprimento de onda de 2780 nm, usado no modo H, frequência de 15 Hz, potência de saída de 3 W, valor de energia < 150 mJ, acompanhado de grande quantidade de água. A cárie foi escavada movendo a ponta da fibra suavemente em um movimento circular, a uma distância de 1,5 mm da cavidade.	Parâmetros avaliados: - **G1** registou o menor tempo de escavação, **G2** foi o mais lento. - As proporções de Ca-P na dentina remanescente estavam próximas da dentina sadia após todos os métodos de escavação. - A dentina escavada em **G1** apresentou maior teor de fosfato e menor teor orgânico de matriz com maior dureza do tecido que foi comparável à dentina sadia - Em contraste, **G2**, **G3** e **G4** exibiram menor teor de fosfato e maior teor orgânico associado à menor microdureza nas camadas mais profundas da dentina (associado à dentina residual lisa sem manchas e túbulos dentinários patentes).
Hamama *et al*, 2015 (40)	120 molares permanentes com cavitação moderada na superfície oclusal na dentina. 75 molares cariados foram usados para teste de resistência de união. 45 restantes para micromorfologia-avaliação da interface ligada. **G1:** escavação rotativa. **G2:** **gel *Carisolv*®.** **G3:** **gel *Papacárie*®.**	**G1:** remoção realizada com um contra-ângulo de baixa rotação usando uma broca de aço redonda. **G2:** gel deixado por 30 segundos antes da escavação da dentina usando um instrumento não cortante. Uma vez que o gel ficou turvo, foi enxaguado com água destilada por 20 segundos e o processo foi repetido até que as aplicações sucessivas do gel não se tornassem turvas. **G3:** gel deixado por 30 segundos antes da escavação da lesão dentinária, semelhante ao **G2.**	Parâmetros avaliados: - Avaliação do efeito dos CMCR no tratamento de superfície de dentina e dos substratos de dentina na adesão dos adesivos de cimento de ionómero de vidro modificado por resina. - Os métodos CMCR baseados em NaOCl (**G2**) e enzimas (**G1**) não têm efeito adverso na adesão de adesivos da dentina sadia e afetada por cáries.

Tabela 6. *Remoção Seletiva com LASER.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Ishii *et al*, 2015 (41)	Molares cariados humanos extraídos e seccionados paralelamente à superfície oclusal, expondo a lesão cariada. As áreas de dentina, incluindo lesões cariadas, foram classificadas em 3 categorias, com base nas aparências óticas e palpação: **C1:** remover (tecido cariado). **C2:** não remover (tecido sadio). **C3:** pouco claro (difícil de determinar).	O **LASER experimental** foi aplicado sob pulsos de 5,85 ÿm, em densidades de potência médias de 30 W/ cm^2 e tempo de irradiação de 2 segundos.	Parâmetros avaliados: - Remoção seletiva: removeu preferencialmente dentina cariada (**C1**: 121, **C2**: 88, **C3**: 46), preservando o tecido saudável adjacente. - Profundidade da ablação *versus* dureza *Vickers*: observou-se uma correlação negativa (**C1**: 22, **C2**: 18, **C3**: 16), indicando maior remoção em áreas menos duras (mais cariadas). - Teor de cálcio: correlação observada com profundidade de ablação a 5,85 µm, não a 6,00 µm. - Efeitos térmicos: a temperatura permaneceu dentro de limites seguros, sem risco para a polpa dentária - Características morfológicas da superfície: cavidades com bordas lisas e bem definidas, sem danos estruturais, favorecendo a adesão restauradora.
Chan *et al*, 2019 (42)	10 amostras dentárias submetidas a lesões de cárie simuladas nas superfícies oclusais. O sistema desenvolvido integrava 2 lasers: **LASER de CO_2** operado num comprimento de onda de 9,3 ÿm combinado com um **LASER de fibra** dopado com túlio operado a 1880 nm.	Imagens NIR a 1880 nm foram capturadas para guiar a ablação com o LASER de CO_2. PS-OCT foi utilizada para avaliar a profundidade inicial das lesões antes da remoção e avaliar o volume de tecido sadio e desmineralizado removido.	As análises por PS-OCT indicaram que aproximadamente 99% da lesão foi removida através da ablação guiada por imagem. Em média, apenas 0,191 mm^3 de esmalte saudável foi removido durante o procedimento, correspondendo a 11,9 µm por voxel, sugerindo que o sistema desenvolvido possui um grande potencial para a remoção altamente seletiva.
Kanar *et al*, 2024 (43)	180 dentes molares humanos extraídos, classificados com pontuações 3, 4 e 5, segundo o sistema ICDAS. **G1:** broca de cerâmica. **G2:** broca de carboneto. **G3:** broca de carboneto com abrasão de alumina. **G4:** broca de carboneto com abrasão de vidro bioativo.	Após aplicação das técnicas de remoção de cáries, utilizou-se um dispositivo de **fluorescência LASER** (*DIAGNOdent Pen*) para detetar a presença de cáries remanescentes. A ponta do instrumento foi colocada no ponto mais profundo do assoalho da cavidade. O valor de corte foi considerado ≥ 30 para a presença de cárie residual.	Parâmetros avaliados: - Avaliação histológica: não revelou diferenças significativas entre as técnicas de remoção de cáries e as pontuações ICDAS em relação à presença de cáries remanescentes. - Comparação entre avaliação histológica e leituras de fluorescência: observou-se uma diferença significativa no grupo ICDAS 5, especificamente entre o **G2** e o **G4**. - Análise da Curva ROC: área sob a curva superior a 0,9, independentemente da técnica de remoção de cárie, exceto para a pontuação ICDAS 4 e para o **G4** na pontuação ICDAS 5.

Tabela 6. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Melo *et al*, 2015 (44)	12 amostras de dentina humana, divididas em 4 grupos com base no número de ciclos de desmineralização induzidos por *pH-cycling:* **G1:** 0 ciclos. Grupo de controlo. **G2:** 2 ciclos. **G3:** 4 ciclos. **G4:** 8 ciclos. Cada grupo foi submetido a 2 parâmetros distintos de **LASER Er:YAG:** **Parâmetro 1:** 250 mJ/4 Hz. **Parâmetro 2:** 200 mJ/2 Hz.	As amostras de dentina foram inicialmente desmineralizadas através de diferentes números de ciclos para simular vários estádios de cárie. Cada amostra foi irradiada com o **LASER Er:YAG** nos 2 conjuntos de parâmetros durante 10 segundos a uma distância focal de 12 mm.	Parâmetros avaliados: - Tanto os parâmetros do LASER quanto o grau de desmineralização influenciaram significativamente as características das cavidades preparadas: - **G1**: cavidades menores e menos profundas. - Nos maiores níveis de desmineralização, **G3** e **G4,** apresentavam cavidades com maior diâmetro e profundidade (devido à menor resistência mecânica da dentina). - O uso do laser no **parâmetro 1** produziu cavidades mais profundas e largas em comparação com o **parâmetro 2.**
Baraba *et al*, 2018 (45)	72 molares humanos, 60 com dentina cariada. **G1** (FFC): **LASER Er:YAG** controlado por fluorescência com pulso de 400 µs. **G2** (SSP): **LASER Er:YAG** com pulso supercurto de 50 µs. **G3** (MSP): **LASER Er:YAG** com pulso médio curto de 100 µs. **G4** (SP): **LASER Er:YAG** com pulso curto de 300 µs. **G5** (controlo positivo): dentes com lesão de cárie que não receberam tratamento. **G6** (controlo negativo): dentes sem lesão de cárie.	**G1**: LASER usado com energia de pulso de 350 mJ para preparação da cavidade do esmalte e 250 mJ para o tratamento da dentina. A duração do pulso foi de 400 ms com uma taxa de repetição de 10 Hz. A densidade de energia para o esmalte foi de 54,7 e o pulso de 39,1 J $(cm^2)^{-1}$ para a dentina. **G2**, **G3** e **G4**: cavidades preparadas com LASER Fidelis Plus II Er:YAG de 2ª geração (*Fotona*) com pulso supercurto, médio curto e curto, respetivamente. A energia do pulso foi de 350 mJ para esmalte e 250 mJ para dentina, com uma frequência de pulso de 10 Hz. A densidade de energia para esmalte foi de 54,7 e 39,1 J (cm^2) de pulso para dentina^{-1}.	Parâmetros avaliados: - Eficácia de remoção bacteriana: - Bactérias cariogénicas foram encontradas em **G5** e não em **G6**. Em **G1**, **G2**, **G3**, e **G4**, as cavidades estavam livres de contaminação bacteriana após o tratamento. - Alteração da temperatura durante ablação: em **G2** (41,2±9,3°C), **G3** (32,0±1,9°C) e **G4** (49,5±15,7°C) as temperaturas medidas durante a ablação da cárie foram significativamente mais elevadas em comparação com as temperaturas em **G1** (4,5±2,4°C). Estas elevações de temperatura não foram suficientes para causar danos térmicos adversos que pudessem afetar a vitalidade pulpar.

Tabela 6. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Cebe *et al*, 2017 (46)	10 molares permanentes extraídos com cáries dentinárias proximais mesiais ou distais. **G1:** remoção da dentina cariada com broca. **G2:** remoção da dentina cariada com **LASER Er:YAG.**	**G1:** tecido cariado removido com broca de aço redonda acoplada a uma peça de mão. **G2**: sistema de **LASER Er:YAG** com comprimento de onda de 2,94 ÿm, potência de saída de 3,5 W, duração do pulso de 300 ÿs no modo de pulso curto e taxa de repetição do pulso de 10 Hz. A irradiação de um feixe focalizado foi realizada a partir de uma distância de 1 mm (densidade de energia: 44 J/cm^2).	Parâmetros avaliados: - Resistência de união: **G1**(18,75±5,95) e **G2** (16,96±5,04). Não há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. **G2** não afetou negativamente o desempenho de união do sistema adesivo *total-etch* à dentina afetada por cárie na parede gengival. - Morfologia da superfície dentária – avaliada por SEM: em **G1**, a dentina foi coberta por *smear layer*, (obstruindo os túbulos dentinários) e em **G2**, os túbulos dentinários estão abertos e distribuídos numa superfície mais limpa e rugosa.
Katirci *et al*, 2016 (47)	69 dentes molares permanentes extraídos, com lesões de cárie oclusal na dentina. **G1:** remoção mecânica com broca. **G2:** gel *Carisolv*®. **G3:** remoção da cárie com **LASER Er:YAG.**	**G1:** a dentina cariada foi removida mecanicamente com brocas de carboneto de tungsténio em peça de mão a baixa rotação. **G2:** gel aplicado na superfície cariada por 30 segundos, seguido da remoção da dentina amolecida com instrumentos manuais específicos. O gel foi reaplicado conforme necessário até que a dentina estivesse adequadamente limpa. **G3:** **LASER Er:YAG** aplicado em modo desfocado com resfriamento por água, utilizando parâmetros recomendados pelo fabricante (30,86 J/cm², energia de pulso de 250 mJ e frequência de 4 Hz).	Parâmetros avaliados: - Dureza *Knoop* da dentina remanescente: **G2** (33,50 ± 6,39), **G1**(40,51 ± 5,78) e **G3** (39,09 ± 6,57). - Composição química da dentina residual: não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas nos teores de Ca, P ou na razão Ca/P entre os 3 grupos. Nenhuma das técnicas alterou significativamente a composição química da dentina. -Presença de cárie residual: 20% das amostras em **G2** apresentavam cárie residual, uma diferença significativamente maior do que **G1** e **G3**, ambos com 5%.
Yan *et al*, 2015 (48)	21 dentes humanos com suspeita de lesões nas superfícies oclusais. **G1:** secções finas de dentes de 300 µm de espessura contendo lesões de cárie **G2:** secções finas de dentes, semelhante ao **G1**. **G3:** dentes inteiros com lesões oclusais naturais.	**G1:** **LASER DPSS Er:YAG** com uma fluência de 10 J/cm². **G2:** orientação por imagens NIR, com comprimento de onda entre 1500-1700 nm. **G3:** as lesões foram 1ª avaliadas com OCT para determinar a profundidade da desmineralização. Imagens NIR foram utilizadas para orientar a ablação e operou com uma fluência maior, de 50 J/cm².	Parâmetros avaliados: - Taxa de ablação: **G1** (15 ± 2 µm/pulso) na lesão *vs* (10 ± 1 µm/pulso) no esmalte saudável; em **G2** (14 ± 1,5 µm/pulso) na lesão *vs* (10 ± 1 µm/pulso) no esmalte saudável e em **G3** média de (12 ± 1 µm/pulso). - Redução da área cariada (seletividade): **G1** (85%), **G2** (92%) e 95% em **G3** (95%). - Integridade estrutural pós-ablação: **G1** e **G3** com estrutura preservada e sem danos térmicos. Em **G2,** a superfície ficou levemente rugosa.

Tabela 6. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Valério *et al*, 2020 (49)	80 dentes de 20 indivíduos, cada um com pelo menos quatro lesões cariosas ativas, localizadas nas superfícies oclusais de molares permanentes. **G1:** **LASER Er:YAG** biomodificado com clorexidina. **G2:** **LASER Er:YAG** e aplicação de água deionizada. **G3:** broca biomodificada com clorexidina. **G4:** broca e aplicação de água deionizada.	**G1:** modo MSP, sem contato e distância focal de 12 mm, energia de pulso de 260 mJ, frequência de pulso de 4 Hz, diâmetro do feixe de saída de 0,9 mm, densidade de energia de 41 J/cm^2 e spray de água (15 mL/min), biomodificado com clorexidina. **G2:** 260 mJ/4 Hz para preparação da cavidade e remoção seletiva. Aplicação de água deionizada. **G3:** brocas a alta velocidade para preparação da cavidade e a baixa velocidade para remoção seletiva de cáries, biomodificadas com clorexidina. **G4:** semelhante ao **G3**, porém, com aplicação de água deionizada.	Parâmetros avaliados: - Descoloração marginal *(Bravo Score):* **G4 e G3** (5 restaurações RC), **G2** (13) e **G1** (9). Diferença estatisticamente significativa nos critérios de descoloração marginal entre os grupos. - Adaptação marginal (alteração na adaptação marginal): **G1** teve o maior número de falhas de adaptação marginal (11), seguida **G2** (7), **G3** (6) e **G4** com (4). Houve uma diferença estatisticamente significativa do **G1** em comparação com os restantes grupos. - Vitalidade pulpar: pequenos casos de necrose pulpar ocorreram em todos os grupos, mas não influenciaram o risco de perda da vitalidade. Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.
Medioni *et al*, 2016 (50)	26 molares e pré-molares humanos extraídos com cárie oclusal ou proximal profunda, mas sem contato pulpar. **G1:** **LASER Er:YAG** *versus* broca de tungsténio. **G2:** **LASER Er:YAG** *versus* broca de polímero. **G3:** broca de polímero *versus* broca de tungsténio.	Os dentes foram seccionados ao meio e cada metade foi tratada. O **LASER Er:YAG** foi utilizado com comprimento de onda de 2,94 µm; peça de mão com ponta de safira (diâmetro de 0,8 mm); frequência 10 Hz; duração do pulso (modo SSP), 50 µs; medidor de potência 375 mJ e fluência teórica de 69,6 J/cm^2. A remoção da cárie ocorreu sob pulverização de ar e água e a irradiação foi interrompida regularmente para que a sonda pudesse ser usada para determinar a condição da dentina e interromper a irradiação quando o tecido saudável fosse alcançado.	Parâmetros avaliados: - Tempo médio necessário: **broca de tungsténio** (36 ± 16s), **broca de polímero** (37 ± 20s) e **LASER Er:YAG** (35 ± 15s). Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os 3 grupos. - Análise histológica da dentina remanescente: não houve diferença significativa entre o **LASER Er:YAG** e a **broca de polímero** em relação à dentina infetada remanescente, porém, houve diferença significativa na dentina afetada remanescente, sendo a maior percentagem de dentina sadia observada quando o **LASER Er:YAG** foi utilizado. - Não houve diferença significativa na presença de bactérias na superfície ou nos túbulos dentinários entre os grupos.

Tabela 7. *Remineralização Biomimética.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Zhou *et al,* 2020 (51)	Amostras de dentina desmineralizada preparadas e divididas nos seguintes grupos: **G1: CPP–ACP.** **G2:** combinado **CPP–ACP+TPP.** **G3:** saliva artificial. **G4:** dentina desmineralizada. Grupo controlo negativo. **G5:** dentina natural. Grupo controlo positivo.	Seleção e preparação das amostras e padronizadas em termos de espessura para garantir comparabilidade entre os grupos. Inicialmente submetidas a um protocolo de desmineralização e posterior aplicação dos agentes remineralizantes: **G1:** aplicou-se somente o agente remineralizante à base de CPP-ACP. **G2:** aplicou-se a formulação que combinou o CPP-ACP com TPP.	Parâmetros avaliados: - Morfologia da superfície dentinária e oclusão dos TD (SEM): - **G1:** formação de depósitos minerais irregulares na superfície da dentina e alguns TD permaneceram desobstruídos. - **G2:** superfície da dentina amplamente coberta por uma nova camada mineralizada, com os TD bem obstruídos. - **G3:** poucos depósitos minerais foram detetados, e os TD permaneceram predominantemente abertos. - **G4:** os TD estavam amplamente abertos, indicando ausência de remineralização. - **G5:** a superfície da dentina permaneceu intacta, com TD naturalmente obstruídos. - Conteúdo Ca e P (EDX): razão Ca/P do **G2** (1,61 ± 0,04) foi estatisticamente semelhante à do **G5** (1,64 ± 0,03) e significativamente maior que **G3** (1,52 ± 0,03) e **G4** (1,49 ± 0,04). O **G1** (1,58 ± 0,05) apresentou uma razão Ca/P significativamente maior que a do **G4**. - Presença e qualidade de cristais (Difração de Raios-X): **G2** mostra picos correspondentes à hidroxiapatite cristalina, semelhantes aos do **G5**.
Chen *et al,* 2015 (52)	20 molares humanos de 12 pacientes com idades entre 20-35 anos. **G1: CMC/ACP.** **G2:** hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$).	A dentina desmineralizada foi tratada com *scaffolds* de nanocomplexos de CMC/ACP **(G1)** ou com hidróxido de cálcio **(G2).** Os *scaffolds* foram aplicados nas cavidades, e os dentes foram submetidos a um fluxo contínuo de fluido corporal simulado para imitar o ambiente oral.	Parâmetros avaliados: - Profundidade de remineralização (Micro-CT): **G1** profundidade média (68,1 ± 2,5 µm) e **G2** (48,5 ± 3,2 µm). Houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. - Conteúdo de Ca e P na superfície da dentina (SEM e EDX): em **G1** (Ca: 38,2 ± 1,3 wt%; P: 17,5 ± 0,8 wt%) e em **G2** (Ca: 36,9 ± 1,5 wt%; P: 16,8 ± 0,9 wt%.). - Mineralização Intrafibrilar (TEM): em **G1** observou-se a formação de bandas características do colagénio tipo I. Em **G2**, a mineralização foi predominantemente extrafibrilar.

Tabela 7. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Saxena *et al,* 2019 (53)	Terceiros molares humanos cortados paralelamente às superfícies oclusais distribuídos entre os grupos: **G1:** **pAsp.** **G2:** **TPP + pAsp.** **G3:** **PAA.** **G4:** **TPP + PAA.** **G5:** grupo de controlo.	Amostras de dentina humana desmineralizada (300 µm de espessura), submetidas a diferentes tratamentos de remineralização. **G1:** solução de remineralização com 4,5 mM de cálcio, 2,1 mM de fosfato e 50 µg/mL de pAsp (27 kDa). **G2:** 0,245 M de (TPP) + solução do **G1**. **G3:** solução de remineralização com 4,5 mM de cálcio, 2,1 mM de fosfato e 1000 µg/mL de PAA (1,8 kDa). **G4:** 0,245 M de TPP + solução **G3**. **G5:** amostras sem qualquer tratamento.	Parâmetros avaliados: - Formação e distribuição de minerais: - Apenas os grupos tratados com pAsp, especialmente quando combinado com TPP, **(G2)** promoveram uma remineralização significativa da dentina desmineralizada. - **G2** apresentou os melhores resultados, com maior conteúdo mineral (≈55%), cristais de hidroxiapatite bem formados (7-10 nm) e distribuição homogénea no interior da dentina. - **G1** também teve efeito positivo, mas menos intenso (≈35% de conteúdo mineral). - **G3**, **G4** e o **G5** não mostraram formação significativa de hidroxiapatite, mantendo baixo conteúdo mineral (≈30%) e ausência de cristais estruturados.
Aras *et al,* 2020 (54)	44 molares humanos extraídos, divididos em 8 grupos: **G1:** apenas ciclo de desmineralização. Controlo positivo. **G2:** nenhuma aplicação. Controlo negativo. **G3:** **gel de fluoreto (F).** **G4:** creme **CPP-ACP.** **G5:** creme de **CPP-ACP com fluoreto.** **G6:** pasta de ***NovaMin* com fluoreto.** **G7:** creme de **xilitol-hidroxiapatite com fluoreto.** **G8:** **ozono com fluoreto**.	Em superfícies de esmalte desmineralizadas, os agentes de remineralização foram aplicados. As amostras foram mantidas em saliva artificial, utilizando um protocolo de ciclo de pH durante 9 dias. As medições de fluorescência a laser foram realizadas antes e depois da aplicação dos agentes de remineralização com *DIAGNOdent.*	Parâmetros avaliados: - Grau de desmineralização/remineralização do esmalte dentário: - **G1** significativa perda mineral, valores elevados (≈6,91) e **G2** valores mais baixos de fluorescência a laser (≈3,82), com integridade do esmalte. - **G3**, **G4**, **G5**, **G6**, **G7** e **G8:** redução estatisticamente significativa após o tratamento: - **G5:** maior redução nos valores de fluorescência, com resultados finais mais próximos aos do **G2**. - **G3** também promoveu uma boa recuperação mineral, embora com eficácia inferior à do **G5**. - **G4** foi eficaz, mas não alcançou os mesmos níveis de recuperação observados quando associado ao fluoreto **(G5)**. - **G6** e **G7** apresentaram resultados positivos, mas com eficácia moderada em comparação com os demais. - **G8** teve a menor resposta remineralizante (embora melhor em relação ao **G1**).

Tabela 7. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Schwendicke *et al*, 2019 (55)	40 amostras de dentina humana, submetidas a diferentes protocolos de desmineralização: **D1:** cárie superficial induzida quimicamente. **D2:** cárie profunda induzida quimicamente. **D3:** cárie profunda induzida por bactérias Após formação da lesão, cada amostra foi dividida em 5 segmentos: **G1:** grupo controlo. **G2:** **EXP**- material experimental bioativo à base de resina, composto por um *primer* autocondicionante e um adesivo contendo biovidro dopado com flúor. **G3:** **GIC- cimento de ionómero de vidro.** **G4:** **MTA- agregado de trióxido mineral (*ProRoot* ®).** **G5**: **BIO- cimento de silicato de cálcio (*Biodentine*®).**	**D1:** as amostras de dentina foram submetidas a um protocolo de desmineralização controlado por pH para gerar lesões superficiais, simulando cárie inicial. **D2:** utilizou-se um tempo maior ou uma solução desmineralizante mais agressiva para gerar lesões mais profundas, ainda sem presença bacteriana. **D3:** foram cultivadas bactérias cariogénicas (como *Streptococcus mutans*) para gerar lesões de cárie reais, com componente infecioso.	Parâmetros avaliados: - Ganho mineral (vol% × µm): todos os grupos (**G2**, **G3**, **G4**, **G5**) promoveram aumentos significativos, sem diferenças estatísticas relevantes entre si nos 3 tipos de lesão (**D1**, **D2**, **D3**). - Microdureza (*Vickers*): - **G4** e **G5** mostraram os maiores aumentos de dureza, especialmente nas lesões bacterianas (**D3**). - **G3** teve desempenho inferior na recuperação da dureza. - **G2** só melhorou significativamente a dureza nas lesões bacterianas (**D3**). - Análises microscópicas: - **G4** e **G5** evidenciaram mineralização periférica *(top-down).* - **G2** demonstrou infiltração mineral intrafibrilar e interfibrilar do colagénio (*bottom-up*), sugerindo remineralização biomimética.
Daneshpoor *et al*, 2020 (56)	Amostras de dentina humana preparadas e desmineralizadas (EDTA a 17% durante 2 horas.) **G1:** **cimento de silicato de cálcio modificado por resina - *(Theracal®)*** **G2:** **cimento de silicato de cálcio - *(Biodentine®).*** **G3:** **CPP-ACP.**	Os discos de cada grupo foram preparados e mantidos em contato próximo com as amostras de dentina desmineralizada, imersos em solução a 37°C durante 1 semana.	Parâmetros avaliados: - Todos os materiais testados (**G1**, **G2** e **G3**) apresentaram bioatividade após 1 semana, com evidência de deposição de apatite nas superfícies dos discos e nas amostras de dentina desmineralizada. - **G2** demonstrou a maior bioatividade, com uma razão Ca/P (187,5), significativamente superior à do **G1** (10,10) e **G3** (0,37), indicando formação mais intensa e rápida de cristais de apatite, confirmada por bandas de apatite.

Tabela 7. *Cont.*

Autor, Ano	Grupos	Metodologia	Resultados/ Comentários
Zhao *et al*, 2021 (57)	Terceiros molares divididos entre os grupos: **G1:** grupo experimental **(Asp).** **G2:** grupo de controlo positivo. **G3:** grupo de controlo negativo. **G4:** grupo branco (natural).	Discos de dentina (espessura de 0,8 mm) e tiras de dentina (5×0,8×0,8 mm) extraídas e desmineralizadas com ácido fosfórico 35%. **G1:** dentina desmineralizada tratada com uma solução mineralizante contendo ácido aspártico **(Asp).** **G2:** solução mineralizante padrão de fosfato de cálcio estabilizada com PAA e sem Asp. **G3:** sem tratamento remineralizante. **G4:** dentina natural, não tratada.	Parâmetros avaliados: - Tempo para cristalização completa: **G1** (4 dias) e **G2** (7 dias). - Tempo para remineralização total da dentina: **G1** (2 dias) face ao **G2** (7 dias). - Resistência à degradação enzimática (perda de massa após 5 dias com colagenase): em **G3** (2,6%), **G4** (0,9%), **G2** (1,2%) e em **G1** (1,0%). - Os níveis de hidroxiprolina foram semelhantes entre **G1**, **G2** e **G4** (sem diferenças estatísticas), e significativamente menores em **G3**.
Babaie *et al*, 2021 (58)	Lesões artificiais e lesões naturais de cárie divididas entre os grupos: **G1:** **PILP** condicionador. **G2:** **PILP** cimento. **G3:** grupo de controlo.	Blocos de dentina humana desmineralizados para criar lesões superficiais (~150 µm) e profundas (~700 µm). **G1:** solução contendo 5 mg/ml de **pAsp** (ácido poliaspártico) aplicada por 20s antes da restauração. **G2:** mistura de **biovidro** com **pAsp** aplicada após o condicionamento e antes da restauração. **G3:** restauração direta com ou sem tratamento prévio com **PILP**. Amostras imersas em fluido corporal simulado por 2 a 4 semanas para permitir a remineralização.	Parâmetros avaliados: - Aceleração da cristalização e remineralização: - Em **G2** o tempo necessário para a completa conversão de fosfato de cálcio amorfo (ACP) em hidroxiapatite foi menor em comparação ao **G3**. - **G1** e **G2** demonstraram remineralização mais eficaz e rápida em relação ao **G3**, com maior recuperação funcional. - Recuperação mecânica (nanoindentação): - **G1** e **G2** apresentaram aumento significativo no módulo de elasticidade e na dureza quando comparado ao **G3**. - **G2** demonstrou resultados particularmente promissores, com valores mecânicos próximos da dentina natural. - Densidade mineral e integração (Micro-CT): aumento na densidade mineral das lesões remineralizadas com PILP, evidenciando uma deposição de minerais mais homogénea e integrada.

3.1. Técnicas de Remoção Seletiva de Tecido Cariado

3.1.1. Remoção Gradual/Por Etapas e Remoção Seletiva de Dentina Mole

Neste subgrupo foram incluídos, após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, um total de oito artigos [23-30]. Por motivos de sistematização, os artigos foram aqui agrupados por abordarem, de forma direta ou comparativa, a remoção seletiva de dentina mole (realizada numa única sessão) e a remoção gradual/por etapas (realizada em duas sessões com selamento provisório e reentrada posterior).

Foram selecionados ensaios clínicos randomizados [23-29] e um estudo observacional [30], realizados em humanos com lesões cariosas profundas.

Os parâmetros mais frequentemente avaliados foram a vitalidade pulpar [23,26,27,29], a taxa de sucesso clínico [23,24,28], a taxa de exposição pulpar [23,24,27,30], a sobrevida restauradora [23,26-28,30], a análise microbiológica [25] e a avaliação económica dos tratamentos [29]. A maioria dos estudos utilizou como materiais restauradores resina composta (RC), amálgama ou cimento de ionómero de vidro modificado por resina (CIVMR). Os principais resultados encontram-se resumidos na Tabela 4.

3.1.2. Remoção Químico-Mecânica

Relativamente à remoção químico-mecânica como técnica minimamente invasiva no tratamento da cárie dentária, foram analisados um total de dez artigos [31–40]. Apesar de alguns artigos poderem ser enquadrados em mais do que uma categoria, por razões de organização, foram incluídos neste subgrupo aqueles cuja ênfase principal foi o uso de agentes químicos para o amolecimento e posterior remoção do tecido cariado infetado.

Foram analisados diferentes tipos de géis, nomeadamente *Papacárie*® e *Papacárie-Duo*® [31,37,40], *Carisolv*® [33,40], *BRIX3000*® [35-39], *Carie-Care*™ [32,34] e novos compostos à base de Bromelina [38], isolada ou associada a outros agentes. Os estudos selecionados englobaram ensaios clínicos randomizados [31-34], realizados em humanos e em dentes permanentes com lesões cariosas profundas, e estudos comparativos [35-40], que avaliaram tanto a eficácia da técnica químico-mecânica em relação ao método tradicional de remoção de cárie (com brocas rotatórias) como a performance comparativa entre diferentes agentes.

As propriedades mais frequentemente avaliadas foram o tempo operatório na remoção de cárie [31, 32, 34–37, 39], o nível de dor e ansiedade relatado pelos pacientes [31, 32, 34, 36], a aceitação e satisfação com o tratamento [31], a eficácia de remoção do tecido cariado e a manutenção da vitalidade pulpar [33, 35], a microdureza da dentina [37–39], a citocompatibilidade dos materiais [37], a análise microbiológica [36] e a avaliação do tratamento de superfície e adesão dentinária [40]. Os principais resultados encontram-se resumidos na Tabela 5.

3.1.3. Remoção Seletiva com LASER

No que respeita à remoção seletiva da cárie dentária com recurso à tecnologia LASER, foram incluídos um total de dez artigos [41-50]. Foram avaliados diferentes tipos de LASER, com destaque para o Er:YAG, Er,Cr:YSGG e LASER de CO_2, aplicados com ou sem o auxílio de sistemas guiados por imagem (fluorescência induzida ou PS-OCT).

Do total, nove estudos foram conduzidos *in vitro* ou em ambiente laboratorial [41-48,50], utilizando dentes humanos extraídos ou estruturas dentárias simuladas. Estes focaram-se principalmente na avaliação da eficácia de remoção da dentina cariada, na morfologia da superfície pós-ablação, na dureza da dentina remanescente, na capacidade antimicrobiana e nos efeitos térmicos decorrentes da aplicação do LASER.

Entre estes nove, seis estudos assumiram caráter comparativo [43-47,50], avaliando diretamente o desempenho do LASER em relação a outras técnicas de remoção de cárie (tradicional, químico-mecânica ou biomodificação), o que permitiu investigar as vantagens do LASER na remoção seletiva, nomeadamente, na eliminação da *smear layer* e na melhoria da adesão restauradora.

Apenas um artigo foi classificado como estudo observacional [49], correspondendo a um estudo clínico prospetivo que analisou o desempenho de restaurações realizadas após remoção seletiva da cárie com LASER Er:YAG, ao longo de quatro anos, avaliando parâmetros como a retenção da restauração, a adaptação marginal e o desempenho clínico global. Os resultados principais estão resumidos na Tabela 6.

3.2. Remineralização Biomimética

No que se refere à reparação da estrutura dentária desmineralizada através de agentes remineralizantes biomiméticos, foram incluídos um total de

oito artigos [51–58]. Todos os estudos selecionados foram conduzidos *in vitro*, utilizando modelos laboratoriais com dentes humanos extraídos, previamente submetidos à desmineralização da dentina para simular lesões cariosas afetadas.

Foram avaliados diferentes compostos com potencial remineralizante, nomeadamente CPP-ACP (fosfato de cálcio amorfo estabilizado por caseína fosfopeptídica)[51,54,56], nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (ACP) [52], tripolifosfato de sódio (TPP) [51,53], partículas de biovidro [55], cimentos de silicato de cálcio (*Biodentine*®)[55,56], cimentos de silicato de cálcio modificado por resina (*Theracal* ®)[56], cimento de ionómero de vidro [55], agregado de trióxido mineral (*ProRoot* ®)[55], polímeros indutores líquidos (PILP) [58], ácido aspártico (Asp) [57], ácido poliacrílico (PAA) [53] e ácido poliaspártico (pAsp) [53]. A aplicação destes agentes teve como objetivo estudar a sua eficácia na indução da remineralização dos tecidos duros dentários.

Quatro dos oito estudos tiveram caráter comparativo [54–57], avaliando diretamente o desempenho de diferentes agentes remineralizantes em relação a grupos controlo ou outros materiais. Os restantes estudos [51–53,58] apresentaram caráter descritivo, centrando-se na eficácia isolada de determinados compostos ou mecanismos de ação.

Os principais parâmetros analisados incluíram a recuperação da microdureza dentinária [55,58], o preenchimento dos túbulos dentinários [51], a estrutura cristalina dos minerais depositados [52,53,56], a recuperação morfológica da matriz colagénica [52,53], e a adesão de materiais restauradores após o processo remineralizante [58]. Os resultados encontram-se organizados na Tabela 7.

DISCUSSÃO

IV. DISCUSSÃO

4.1. Técnicas de Remoção Seletiva de Tecido Cariado

Com a evolução do entendimento da fisiopatologia da cárie dentária e da estrutura dentária, tem-se assistido a uma mudança paradigmática no seu tratamento, marcada por uma transição progressiva das abordagens tradicionais invasivas para técnicas mais conservadoras e orientadas para a preservação tecidular. [4]

Neste contexto, a remoção seletiva de tecido cariado representa um avanço significativo, ao basear-se no princípio de que nem toda a dentina afetada pela cárie necessita de ser removida para garantir o sucesso clínico. A distinção entre dentina infetada (estruturalmente degradada e colonizada por bactérias) e dentina afetada (potencialmente remineralizável) permitiu o desenvolvimento de abordagens mais racionais e biologicamente respeitadoras, alinhadas com os princípios minimamente invasivos. [3,12]

Para viabilizar a prática clínica têm sido exploradas diversas técnicas, como a remoção em etapas, a remoção seletiva de dentina mole, o uso de agentes químico-mecânicos e as tecnologias baseadas em LASER, com diferentes graus de aplicabilidade e impacto sobre a vitalidade pulpar. [3,4,7]

4.1.1. Remoção Gradual/Por Etapas

O tratamento convencional para as lesões de cárie envolve a remoção completa do tecido cariado amolecido, até se atingir uma estrutura dentária devidamente mineralizada, seguindo-se da restauração definitiva do dente. (figura 2, anexo 7.2) [26 ,59]

No entanto, no tratamento de lesões profundas, esta técnica gera um risco acrescido de exposição pulpar, o que conduz, muitas vezes, à necessidade de tratamento endodôntico. [59] Assim, com o objetivo de evitar a exposição da polpa dentária e as complicações associadas, foram desenvolvidas técnicas conservadoras como o capeamento pulpar indireto, a remoção em duas etapas e a técnica de remoção parcial de cárie, também designada de remoção seletiva de dentina mole. [7,26]

A remoção gradual consiste em duas fases: na primeira, remove-se o tecido cariado periférico até à dentina dura, deixando-se intencionalmente dentina mole na zona pulpar, que é selada com uma restauração temporária.

Após 3 a 12 meses, esta é substituída, e realiza-se a remoção seletiva até à dentina firme, seguida da restauração definitiva. [7,13]

Durante o selamento, há redução bacteriana, remineralização da dentina remanescente e estimulação da resposta pulpar, promovendo formação de dentina reacional e esclerose dentinária, o que reduz o risco de exposição pulpar na segunda etapa. [7,13,60]

Apesar dos benefícios, esta técnica exige mais consultas, apresenta risco de falha na restauração temporária e resultados restauradores semelhantes à remoção seletiva numa única etapa, além de implicar maior custo e desconforto para o paciente. [13,60]

No entanto, vários estudos indicam que a remoção por etapas é um procedimento bem-sucedido quando comparada com a remoção não seletiva até à dentina firme. Bjørndal *et al* demonstraram, num estudo de 2017, que o sucesso clínico, definido como ausência de sintomas de dor, manutenção da vitalidade pulpar e ausência de necessidade de tratamento endodôntico durante o período de acompanhamento, foi significativamente superior com a remoção por etapas. Além disso, os resultados indicaram que fatores como a taxa de exposição pulpar e a necessidade de tratamento endodôntico foram mais elevados na remoção não seletiva. [24] Um estudo de Jardim *et al* (2020) corrobora as principais conclusões de Bjørndal *et al*, demonstrando que esta abordagem proporciona uma técnica de remoção de cárie com taxas de sucesso relativamente elevadas. As restaurações realizadas, tanto em amálgama como em resina composta, apresentaram também taxas superiores de longevidade clínica. [28]

4.1.2. Remoção Seletiva de Dentina Mole

De forma de melhorar a eficácia da abordagem anterior, foi proposta a técnica de remoção seletiva de tecido cariado, também conhecida como remoção parcial de cárie. Esta abordagem é indicada para lesões cariosas profundas (ou seja, que se estendem até ao terço ou quarto interno da dentina), em dentes com polpas vitais (figura 3, anexo 7.2). [7,13]

Nesta técnica, procede-se à remoção seletiva da dentina cariada periférica até atingir dentina dura, enquanto na zona mais próxima da polpa a remoção é limitada à camada mais superficial da dentina amolecida (dentina infetada), podendo parte desta ser intencionalmente preservada para evitar a exposição pulpar. A remoção é realizada de forma cuidadosa, sem exercer pressão, utilizando instrumentação manual ou rotatória. A restauração definitiva deve ser realizada na mesma sessão, sendo geralmente desnecessária uma reentrada posterior na cavidade. Dá-se especial ênfase à obtenção de uma vedação marginal eficaz na periferia da lesão, onde o esmalte e a dentina devem

apresentar consistência dura, fator essencial para o sucesso clínico a longo prazo da restauração. [7]

Este método visa preservar a maior quantidade possível de tecido dentário saudável e minimizar o risco de exposição pulpar, alinhando-se com o princípio da preservação da vitalidade pulpar. [4,7,13]

De acordo com Gözetici Çil *et al* (2023), a remoção seletiva de dentina mole reduz significativamente o risco de exposição pulpar em comparação com a remoção não seletiva ou com a técnica de remoção em duas etapas. [4,13] No mesmo estudo, que avaliou comparativamente os desfechos clínicos desta técnica em comparação com a remoção seletiva até à dentina firme, em dentes posteriores permanentes com lesões cariosas profundas, ao longo de um período de dois anos, verificou-se que a abordagem mais conservadora - remoção de dentina mole - apresentou taxas de sucesso superiores, tanto na manutenção da vitalidade pulpar como na redução da necessidade de intervenções endodônticas.[27] Em contrapartida, a remoção até à dentina firme, embora proporcione um substrato mais rígido para retenção restauradora, revelou uma maior incidência de exposição pulpar, implicando um aumento nos casos que requereram tratamento endodôntico. [27]

Num estudo realizado por Maltz *et al,* em 2018, foi comparada a eficácia clínica da remoção seletiva de cárie numa única sessão com a técnica de remoção por etapas em lesões cariosas profundas, no qual os resultados evidenciaram que a remoção seletiva de dentina mole, realizada numa única sessão, preservou a vitalidade pulpar em aproximadamente 80% dos casos, enquanto a abordagem por etapas apresentou um índice de preservação significativamente inferior, em torno de 56%. Além disso, a técnica numa sessão única mostrou-se mais eficiente também em termos restauradores, apresentando uma redução de 62% no risco de falha restauradora ao longo do período de acompanhamento, em comparação com a técnica por etapas. [26] Tais dados reforçam a segurança e a efetividade da abordagem seletiva única, não apenas na preservação da polpa, mas também na durabilidade da restauração. [26] Jardim *et al*, num estudo de 2023, demonstrou que a remoção seletiva de dentina mole também foi associada a maiores taxas de manutenção da vitalidade pulpar, comparativamente às técnicas que envolvem duas etapas. Além disso, o estudo avaliou o impacto económico das abordagens, revelando que a técnica por etapas implica um custo total significativamente superior, quando considerado o número de consultas, tempo clínico envolvido e necessidade de materiais adicionais. [29]

No entanto, os resultados do estudo de Labib *et al* (2023) fornecem uma perspetiva distinta sobre a eficácia comparativa entre a remoção seletiva numa única sessão e a remoção por etapas. Os autores relataram ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os grupos em relação a diversos desfechos clínicos críticos, incluindo a frequência de exposição pulpar, manutenção da vitalidade pulpar, tempo médio livre de complicações clínicas e taxa de sucesso restaurador ao longo do acompanhamento. No mesmo estudo,

os resultados preliminares indicaram que ambas as abordagens apresentam desempenho clínico semelhante em contextos de prática clínica controlada, sugerindo que a escolha entre os métodos pode ser guiada por fatores como preferência do clínico, perfil do paciente e logística da clínica. [23]

Para além disso, Casagrande *et al* (2017) concluiu que a remoção não seletiva até à dentina firme (remoção completa) esteve associada a uma incidência significativamente mais elevada de exposição pulpar, evidenciando o potencial risco biológico de uma abordagem mais invasiva em tecidos dentinários profundos. No entanto, apesar da maior taxa de exposição, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na longevidade clínica das restaurações entre os grupos, ao longo do período avaliado. Estes dados indicam que, embora ambas as técnicas possam apresentar resultados restauradores equivalentes a médio prazo, a remoção seletiva oferece maior segurança biológica, com menor risco de complicações pulpares, especialmente em pacientes jovens com dentes em desenvolvimento. [30]

Foi também demonstrado no estudo de Bittelo-Firmino *et al* (2018) que a remoção não seletiva resultava numa carga bacteriana residual significativamente menor logo após o procedimento, dado o maior grau de remoção tecidual. No entanto, após um período de três meses de selamento hermético da cavidade restaurada, observou-se uma redução microbiana substancial e estatisticamente significativa no grupo submetido à remoção seletiva, atingindo níveis comparáveis aos da remoção completa, sugerindo que o controlo microbiológico a médio prazo pode ser igualmente eficaz com a técnica seletiva, desde que a restauração proporcione um selamento marginal adequado. [25]

4.1.2. Remoção Químico-Mecânica

A técnica de remoção químico-mecânica (CMCR) consiste na utilização de agentes que provocam o amolecimento químico da dentina cariada, que é posteriormente removida de forma suave com instrumentos manuais. Tal como a remoção em etapas e a remoção de dentina mole, distingue-se dos procedimentos convencionais por remover seletivamente apenas a dentina infetada, preservando a dentina afetada que possui potencial de remineralização, sendo, por isso, considerada menos destrutiva. [14,15]

Os agentes CMCR podem ser divididos, essencialmente, em dois grandes grupos: os baseados em hipoclorito de sódio (como *Gk-101* e o seu derivado, *Gk101e*, comercializado como *Caridex*® e *Carisolv*®) e os baseados em enzimas proteolíticas (como *Papacárie*®, *Biosolv*™, *Carie-Care*™, *BRIX3000*® e, mais recentemente, os géis à base de bromelina, enzima extraída do ananás, *Ananas Comosus*). Todos estes agentes atuam destruindo seletivamente as fibras de

colagénio permanentemente danificadas na dentina infetada, facilitando a sua remoção sem comprometer a dentina afetada subjacente. [14,15,38]

Nos agentes à base de hipoclorito de sódio, este processo ocorre, principalmente, por cloração oxidativa, envolvendo a hidrólise das ligações cruzadas entre as unidades de tropocolagénio e/ou a clivagem das cadeias polipeptídicas no interior da tripla hélice. No entanto, a química subjacente à cloração dos aminoácidos e os seus efeitos ainda não se encontram totalmente compreendidos. [14,15]

Já nos agentes enzimáticos, como os que contêm papaína ou bromelina, o mecanismo de ação baseia-se na atividade proteolítica seletiva, que promove a degradação de colagénio desnaturado e a desorganização do tecido necrótico, preservando as estruturas dentinárias viáveis. Esta ação seletiva é explicada pela ausência de α1-antitripsina - um inibidor plasmático de proteases - na dentina infetada. [14,15,38]

De acordo com o estudo realizado por Adham *et al* (2021), que comparou duas técnicas minimamente invasivas em grávidas ao longo de seis meses, o uso do gel *Papacárie-Duo*® demonstrou vantagens clínicas e maior aceitação por parte das pacientes, quando comparado ao Tratamento Restaurador Atraumático (ART). Os resultados indicaram que o agente CMCR promoveu uma redução significativa na dor relatada – com uma diminuição de 81,55% na perceção dolorosa –, refletindo maior conforto durante o procedimento. As participantes também reportaram níveis mais elevados de satisfação geral, evidenciando menor ansiedade, maior tolerância ao tratamento e menor necessidade de anestesia local. Em termos operatórios, o método químico-mecânico revelou-se mais eficiente, exigindo menor tempo clínico sem comprometer a eficácia na remoção do tecido cariado. [31]

De forma semelhante, os estudos de Gupta *et al* (2025) e Sontakke *et al* (2019) reforçam os benefícios clínicos e comportamentais da remoção químico-mecânica do gel *Carie-Care*™, especialmente em pacientes pediátricos. Embora ambos os estudos tenham evidenciado que o tempo clínico necessário para a remoção da cárie com o agente foi significativamente superior ao método convencional com broca, os resultados demonstraram vantagens notórias em termos de conforto e aceitação por parte dos pacientes. Especificamente, observou-se uma perceção de dor substancialmente menor durante o procedimento, acompanhada por níveis significativamente reduzidos de ansiedade e medo – fatores frequentemente associados ao tratamento dentário em crianças. Além disso, Sontakke *et al* destacou que a cooperação dos pacientes durante o tratamento foi significativamente melhor no grupo tratado com *Carie-Care*™, o que pode facilitar a realização de tratamentos restauradores em crianças com comportamento mais difícil. [32,34]

O estudo clínico randomizado de Ali *et al* (2020), com seguimento de dois anos, comparou a eficácia da remoção de cárie utilizando o gel químico-mecânico *Carisolv*® com a abordagem convencional baseada em brocas rotatórias, com especial foco na taxa de sucesso clínico das restaurações ao

longo do tempo. Os resultados revelaram uma taxa de sucesso significativamente superior no grupo tratado quimicamente (76,6%), em comparação com o grupo submetido ao método rotatório tradicional (48,4%). Esta diferença torna-se ainda mais evidente quando analisados casos específicos em molares, nos quais *Carisolv*® se mostrou particularmente eficaz. Tal como os estudos anteriores, o agente CMCR demonstrou um desempenho consistente na remoção seletiva do tecido cariado, preservando a dentina afetada viável e proporcionando uma superfície morfologicamente favorável para a adesão restauradora. Além disso, o procedimento com *Carisolv*® foi associado a menor necessidade de anestesia e menor ocorrência de desconforto intraoperatório, fatores que poderão ter contribuído para o maior sucesso restaurador a longo prazo. [33]

Elmarakby *et al* (2025) e Ismail *et al* (2019) confirmaram a eficácia das técnicas CMCR, como o uso do gel enzimático *BRIX3000*® e das brocas inteligentes *SmartPrep*® (brocas rotatórias compostas por um polímero com dureza inferior à da dentina saudável, permitindo a remoção seletiva apenas da dentina cariada desmineralizada), na eliminação eficiente do tecido cariado, com menor impacto sobre a dentina sadia e maior conforto relatado pelos pacientes durante o procedimento. Ambas as abordagens CMCR demonstraram ser eficazes na preservação da estrutura dentária viável, promovendo uma remoção seletiva do tecido infetado e reduzindo a necessidade de anestesia e o desconforto associado a métodos mais invasivos. No entanto, apesar da convergência quanto à eficácia clínica e ao benefício na experiência do paciente, os autores apresentam resultados divergentes no que diz respeito à duração do tratamento. Elmarakby *et al* observou que a utilização dos agentes CMCR permitiu um tempo de tratamento mais curto, o que poderá estar relacionado à experiência do operador e à natureza dos casos clínicos avaliados. Por outro lado, Ismail *et al* relatou um aumento no tempo necessário para concluir o procedimento com *BRIX3000*®, em comparação com as brocas *SmartPrep*®, embora esse prolongamento tenha sido compensado pela maior aceitação dos pacientes e pela ausência de dor. [35,36]

Estudos conduzidos por Santos *et al* (2020) e Al-Sagheer *et al* (2024) evidenciaram que diferentes estratégias de remoção de tecido cariado - broca convencional, *Papacárie-Duo*® e *BRIX3000*® - são eficazes na manutenção da microdureza da dentina remanescente, indicando que a resistência mecânica do substrato não é significativamente comprometida, independentemente da técnica empregada. No entanto, análises morfológicas em microscopia eletrónica revelaram diferenças substanciais na qualidade da superfície dentinária resultante. Os métodos químico-mecânicos, particularmente o *BRIX3000*®, destacaram-se por promover uma remoção seletiva da dentina infetada, com mínima intervenção na dentina afetada. As superfícies obtidas com esta abordagem apresentaram reduzida presença de *smear layer* e maior exposição dos túbulos dentinários, características que favorecem a infiltração de sistemas adesivos e potenciam a qualidade da interface adesiva. Em

contrapartida, a abordagem convencional, embora associada a uma maior rapidez operatória e valores superiores de microdureza, resultou em superfícies mais planificadas, porém com maior acúmulo de resíduos e túbulos parcialmente obliterados, condições que podem limitar a eficácia das técnicas adesivas contemporâneas. [37,39]

Al-Badri *et al* (2024) compararam a morfologia da dentina residual após a aplicação de diferentes agentes CMCR, evidenciando variações relevantes na integridade da superfície dentinária e na exposição dos túbulos. De acordo com observações microscópicas (figura 4, anexo 7.3), todos os géis enzimáticos testados (*BRIX3000®,* gel de bromelina puro e as suas formulações combinadas com cloramina-T ou clorexidina) promoveram uma remoção mais limpa do tecido cariado, com menor presença de *smear layer*, quando comparados aos métodos convencionais. A remoção manual produziu superfícies rugosas completamente cobertas por uma camada de detritos (figura 4, A-3) e nas superfícies escavadas com broca foi notória a presença de uma camada espessa homogénea de detritos que ocluía as aberturas dos túbulos dentinários (figura 4, B-3). No entanto, a qualidade da superfície remanescente variou entre os géis. Por exemplo, *BRIX3000®* (figura 4, C-3) e o gel de bromelina combinado com clorexidina (figura 4, F-3) resultaram numa superfície mais rugosa, com túbulos parcialmente ou totalmente obstruídos. Em contraste, o gel à base de bromelina combinado com cloramina T - um análogo do hipoclorito de sódio, que não causa desnaturação das proteínas da dentina - promoveu uma superfície altamente lisa e túbulos dentinários completamente abertos, sugerindo uma limpeza mais eficaz (figura 4, E-3). O gel de bromelina pura gerou uma superfície ondulada, com a maioria dos túbulos abertos, embora alguns permanecessem parcialmente obstruídos (figura 4, D-3). Estas diferenças morfológicas poderão ter implicações clínicas na qualidade da adesão e na retenção de materiais restauradores, reforçando a importância da escolha criteriosa dos agentes CMCR com base no tipo de restauração pretendida e nas características do substrato dentinário. [38]

Contudo, é importante considerar algumas limitações práticas na aplicação destes agentes. A maioria dos estudos aponta para um tempo de trabalho mais prolongado, o que pode ser um obstáculo em clínicas com elevada rotatividade de pacientes ou em procedimentos múltiplos. Apesar disso, este fator é frequentemente compensado pela melhor experiência clínica e menor necessidade de anestesia local, como observado em vários estudos [34,36].

Além disso, os agentes CMCR parecem ser particularmente vantajosos em situações em que a administração de anestesia local deve ser minimizada ou evitada, como em grávidas durante o primeiro trimestre, crianças pequenas ou pacientes com fobia a agulhas. A versatilidade dos agentes químicos disponíveis no mercado permite ao clínico adaptar a técnica a diferentes realidades clínicas e necessidades do paciente. [14,15]

Os estudos de seguimento clínico, como os de Elmarakby *et al* (2025) e Santos *et al* (2020), mostram que não há diferenças significativas entre a

remoção químico-mecânica e a remoção convencional, no que toca à integridade marginal, falhas restauradoras ou recorrência de lesões, mesmo após períodos alargados de observação. [35,37]

Por fim, o estudo conduzido por Hamama *et al* (2015), que avaliou o impacto da remoção químico- mecânica na adesão de cimentos de ionómero de vidro modificados por resina (CIVMR) à dentina afetada, com especial ênfase na integridade da interface adesiva, demonstrou que os métodos CMCR não afetam negativamente a adesão dos materiais restauradores, mesmo em substratos dentinários comprometidos, reforçando, assim, a sua compatibilidade com procedimentos restauradores adesivos. Especificamente, observou-se que a resistência de união à dentina tratada com agentes químico-mecânicos foi comparável – e por vezes superior – àquela obtida com métodos convencionais de remoção de cárie. Esse desempenho é atribuído à capacidade dos géis preservarem a morfologia natural da dentina, mantendo a sua estrutura colagenosa parcialmente intacta e originando uma superfície com túbulos mais expostos e menor *smear layer*, o que favorece a penetração do adesivo. Além disso, a menor agressividade mecânica reduz o risco de micro-trincas ou delaminações na interface, contribuindo para uma adesão mais durável e estável. [40]

4.1.3. Remoção Seletiva com LASER

A remoção seletiva de tecido cariado com recurso à tecnologia LASER constitui uma estratégia minimamente invasiva em crescente evidência, permitindo eliminar o tecido infetado com precisão, preservando o tecido dentário saudável e proporcionando maior conforto ao paciente, devido à menor vibração, baixo ruído e, frequentemente, ausência de dor. [16,17] Esta técnica baseia-se na interação específica entre o feixe de LASER e os constituintes da dentina, possibilitando uma remoção controlada do tecido infetado e a preservação da dentina afetada, gerando superfícies favoráveis à adesão restauradora. Além disso, a preparação cavitária com LASER favorece superfícies limpas, rugosas e livres de *smear layer*, produzindo condições ideais para a infiltração de adesivos e melhorando a adesão dos materiais restauradores. [16,17]

O termo LASER deriva do acrónimo inglês *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, referindo-se a um feixe colimado de elevada energia gerado por um meio ativo (sólido, líquido ou gasoso). Dependendo da sua potência, os LASERs podem ser classificados em baixa e alta potência: os de baixa potência são utilizados em procedimentos como analgesia, redução da inflamação e regeneração tecidular, enquanto os de alta potência são aplicados na remoção de cárie, em cirurgias, ortodontia, diagnóstico fluorescente e terapia fotodinâmica. [16]

Na remoção de cárie, destacam-se os LASERs de Érbio, como o Er:YAG e o Er,Cr:YSGG (comprimento de onda 2780 nm), que funcionam em modo pulsado com emissão de água nebulizada, evitando o aquecimento excessivo. A energia emitida é absorvida pelas moléculas de água do tecido dentário, provocando microexplosões que removem seletivamente o tecido infetado - mais hidratado - preservando a estrutura sadia e reduzindo a extensão da restauração. [17] Esta técnica também favorece a descontaminação da cavidade, diminuindo o risco de reinfeção bacteriana. [17]

Os LASERs de CO_2 (comprimento de onda 9300–9600 nm), por sua vez, têm elevada afinidade pela hidroxiapatite e são indicados para exposição de margens cavitárias subgengivais. [16,17]

Diversos estudos têm explorado a utilização do LASER Er:YAG, e outras tecnologias associadas, na remoção de tecido cariado e na preparação cavitária. Melo *et al* (2015) demonstraram que o grau de desmineralização da dentina humana influencia diretamente a profundidade e a largura das cavidades formadas pelo LASER, sendo que amostras mais desmineralizadas resultaram em cavidades maiores, especialmente sob parâmetros de maior energia (250 mJ/4 Hz). [44] De forma complementar, Baraba *et al* (2018) confirmaram a eficácia do LASER Er:YAG na eliminação de bactérias cariogénicas em cavidades, salientando que, apesar do aumento de temperatura associado a certos modos de pulso, não foram observados danos térmicos à polpa dentária. [45]

A eficiência da remoção seletiva também foi evidenciada no estudo de Ishii *et al* (2015), que utilizaram um LASER experimental a 5,85 µm para remover preferencialmente o tecido mais desmineralizado, preservando o tecido saudável, verificando-se uma correlação negativa entre a profundidade de ablação e a dureza *Vickers*, o que indica que o LASER atuava mais intensamente em áreas de dentina mole, sendo que, o controlo térmico manteve as temperaturas dentro de limites seguros, sem risco para a polpa dentária e as cavidades resultantes apresentaram bordas lisas e bem definidas, favorecendo a adesão restauradora subsequente. [41] Chan *et al* (2019) ampliaram este conceito ao desenvolverem um sistema de remoção guiada por imagem, utilizando LASERS combinados (CO_2 e fibra dopado com túlio), conseguindo remover cerca de 99% das lesões com mínima perda de estrutura sadia (em média, apenas 0,191 mm^3). [42]

No que diz respeito às alterações morfológicas da superfície dentinária e à adesão dos materiais restauradores, Cebe *et al* (2017), Yan *et al* (2015) e Medioni *et al* (2016) relataram que a preparação com LASER gera superfícies mais limpas e rugosas (figura 5-A, anexo 7.4), com abertura dos túbulos dentinários e redução da *smear layer*, em comparação à broca rotatória (figura 5-B, anexo 7.4), características favoráveis para a infiltração de adesivos. Além disso, Katirici *et al* (2016) observaram que a dureza e a composição química da dentina remanescente foram semelhantes entre os métodos de remoção com

LASER e o método convencional. A presença de cárie residual foi comparável entre ambos os grupos. [46,47,48,50]

A comparação entre LASER e métodos convencionais também foi objeto de investigação clínica. Kanar *et al* (2024) relataram que, embora o tempo operatório tenha sido superior no grupo tratado com LASER, os níveis de dor, ansiedade e a cooperação dos pacientes foram significativamente melhores. [43] De forma semelhante, Al-Sagheer *et al* (2024) observaram que o LASER WATERLASE iPlus proporcionou superfícies lisas e túbulos expostos, favoráveis à adesão, mas também verificaram um menor teor de fosfato e um maior conteúdo orgânico nas camadas mais profundas da dentina tratada, além de maior tempo de tratamento comparativamente à broca convencional. [39]

Valério *et al* (2020) realizaram um estudo clínico prospetivo de quatro anos, comparando a longevidade de restaurações em resina composta após remoção seletiva da cárie utilizando LASER Er:YAG ou brocas rotativas, no qual os resultados demonstraram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos nos critérios de descoloração e adaptação marginal, com destaque para um maior número de falhas de adaptação no grupo tratado com LASER associado à clorexidina. Em relação à vitalidade pulpar, embora tenham ocorrido alguns casos de necrose, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, indicando que a utilização do LASER não comprometeu a preservação pulpar. [46]

4.2. Remineralização Biomimética

Após a remoção seletiva, eficiente e controlada do tecido cariado infetado, respeitando a preservação da dentina afetada e da integridade da matriz colagénica, o substrato dentinário remanescente mantém-se apto para processos de remineralização. [11,18] A dentina afetada, ainda que parcialmente desmineralizada, conserva fibras de colagénio estruturadas e espaços interfibrilares preservados, condições fundamentais para a deposição de novos minerais e para a regeneração funcional do tecido dentário. [18]

Neste contexto, a remineralização biomimética surge como uma estratégia inovadora e promissora, baseada na utilização de agentes remineralizantes capazes de mimetizar o papel das proteínas da matriz dentinária durante o processo natural de formação de tecidos duros. [19] Estes agentes induzem a nucleação e o crescimento organizado de cristais de hidroxiapatite dentro da rede colagénica, procurando restaurar não apenas a composição mineral da dentina, mas também a sua arquitetura tridimensional, propriedades mecânicas e funcionalidade biológica, favorecendo a preservação da vitalidade pulpar e aumentando a longevidade das restaurações. [11,19]

Diversos materiais bioativos têm sido investigados com o objetivo de potenciar a remineralização biomimética. Entre eles, destaca-se o fosfato de cálcio amorfo (ACP), um precursor da hidroxiapatite que, pela sua elevada solubilidade, facilita a precipitação de cristais no interior da matriz colagénica.[56] Chen *et al* (2015) demonstraram que *scaffolds* de carboximetilcelulose (CMC) contendo nanopartículas de ACP, favoreceram uma remineralização predominantemente intrafibrilar (figura 6-A, anexo 7.4), alcançando profundidade média de 68,1 µm, superior à obtida com o hidróxido de cálcio tradicional (figura 6-B, anexo 7.4). Este tipo de remineralização, ao ocorrer intrafibrilarmente, é fundamental para a recuperação efetiva da rigidez, elasticidade e resistência da dentina, fatores indispensáveis à sua longevidade clínica.[52]

Paralelamente, os fosfopeptídeos da caseína (CPP), derivados da digestão enzimática da caseína, têm a capacidade de estabilizar iões de cálcio e fosfato em solução, promovendo a formação controlada de cristais de apatite.[56] Zhou *et al* (2020) analisaram a eficácia de um sistema baseado em CPP-ACP associado ao tripolifosfato de sódio (TPP), verificando a formação de uma camada remineralizada contínua na dentina desmineralizada, com uma razão Ca/P semelhante à da dentina natural e obliteração dos túbulos dentinários, aspeto crucial para a proteção contra estímulos externos e progressão de lesões. O TPP, como evidenciado no mesmo estudo, atua como fonte adicional de fosfato, otimizando a precipitação de hidroxiapatite no interior da matriz (figura 7, anexo 7.5).[51]

Ainda no âmbito da utilização de CPP, Aras *et al* (2020) demonstraram que a adição de fluoreto ao complexo CPP-ACP incrementou significativamente a recuperação da integridade mineral em superfícies de esmalte desmineralizado, sugerindo que a sinergia entre fluoreto e CPP-ACP poderá potenciar os efeitos remineralizantes não só em esmalte, mas possivelmente também em dentina afetada.[54]

Adicionalmente, moléculas como o ácido poliaspártico (pAsp) desempenham um papel essencial na estabilização da fase líquida precursora de cristais, permitindo uma remineralização intrafibrilar mais eficaz.[56] Saxena *et al* (2019) testaram um sistema biomimético utilizando pAsp e TPP, observando a formação de cristais de hidroxiapatite com elevada organização e alinhamento, com uma taxa de mineralização significativamente superior (≈55%), em comparação a métodos convencionais. O pAsp, ao atuar como agente de estabilização da fase líquida precursora, favorece a penetração profunda dos minerais dentro da rede de fibras de colagénio, aspeto determinante para a durabilidade da remineralização.[53]

De forma semelhante, o ácido aspártico (Asp) também demonstrou potencial significativo. Zhao *et al* (2021) evidenciaram que o Asp acelerou a formação de cristais de hidroxiapatite e conferiu proteção contra a degradação proteolítica da matriz colagénica, reforçando a estabilidade e a resistência da dentina remineralizada a agressões futuras (figura 8, anexo 7.6).[57]

Além disso, abordagens baseadas em sistemas de precursor líquido induzido por polímero (PILP) têm ganhado atenção crescente. Babaie *et al* (2021) demonstraram que o método PILP promoveu uma remineralização intrafibrilar superior, permitindo uma recuperação da dentina afetada muito próxima da composição e propriedades biomecânicas da dentina natural, representando uma estratégia inovadora de regeneração tecidular a longo prazo. (58)

Por outro lado, materiais restauradores bioativos, como os cimentos de silicato de cálcio, têm sido também alvo de investigação no âmbito da remineralização biomimética. Estes materiais, exemplificados pelo *Biodentine*® (Septodont) e pelo *Theracal*® (Bisco), libertam iões de cálcio, promovem a elevação do pH local e favorecem a formação de cristais de apatite na interface com o tecido dentinário. Daneshpoor *et al* (2020) focaram-se na avaliação do *Biodentine*®, verificando que este cimento promoveu a formação de apatite numa fase inicial e demonstrou elevada bioatividade, com vantagens na preservação da vitalidade pulpar e na regeneração da estrutura dentinária (figura 9, anexo 7.6). (56)

De forma complementar, Schwendicke *et al* (2019) avaliaram a eficácia de diferentes materiais bioativos, como cimentos de silicato de cálcio e agregados de trióxido mineral (MTA), na remineralização de lesões de cárie induzidas quimicamente e por ação bacteriana, evidenciando que os cimentos de silicato de cálcio proporcionaram melhorias significativas na microdureza dentinária. Nesse mesmo estudo, embora todos os materiais testados tenham promovido ganhos minerais semelhantes, os cimentos à base de silicato de cálcio (*Biodentine*®) e o MTA (*ProRoot*®) demonstraram maior incremento na microdureza, especialmente nas lesões de cárie bacteriana, sugerindo que, embora o ganho mineral global tenha sido comparável, a qualidade da remineralização em termos de resistência mecânica poderá beneficiar do uso destes cimentos bioativos. (55)

4.3. Limitações do Presente Trabalho

Uma das principais limitações do presente trabalho prende-se com a diversidade e abrangência das abordagens metodológicas dos estudos incluídos, bem como com as diferentes condições em que os mesmos foram conduzidos.

Outro fator limitante está relacionado com o facto de uma proporção considerável dos estudos inicialmente identificados dizer respeito à dentição decídua, tendo, por esse motivo, sido excluídos da análise, o que contrasta com o foco pretendido desta monografia, centrado na dentição permanente. Para

além disso, a maioria dos estudos são de natureza *in vitro*, limitando a sua transposição direta para a prática clínica, uma vez que há muitos fatores presentes *in vivo* que são difíceis de simular *in vitro*.

Seriam, por isso, necessários mais estudos *in vivo*, realizados em humanos, com seguimento a médio e longo prazo, para poder avaliar com maior rigor a eficácia da associação entre a remoção seletiva de tecido cariado e a remineralização biomimética.

CONCLUSÕES

V. CONCLUSÕES

De acordo com a informação científica recolhida e discutida neste trabalho, pode-se concluir o seguinte:

- As abordagens minimamente invasivas no tratamento da cárie dentária têm vindo a afirmar-se como alternativas eficazes e biocompatíveis às técnicas tradicionais, centrando-se na preservação estrutural dos tecidos dentários e no conforto do paciente.
- A remoção por etapas e a remoção seletiva de dentina mole, demonstraram ser eficazes na preservação da vitalidade pulpar, sobretudo em lesões cariosas profundas. Ambas as técnicas promovem a conservação da dentina afetada, permitindo a sua remineralização, estando associadas a uma menor taxa de exposição pulpar e a uma maior longevidade clínica das restaurações.
- Apesar da remoção por etapas requerer múltiplas consultas, o que pode afetar a adesão ao tratamento, os estudos incluídos demonstraram resultados clínicos comparáveis aos da remoção seletiva, sendo esta última especialmente vantajosa por permitir tratamento numa única sessão, com menores custos e maior conveniência para o paciente.
- Embora a eficácia temporal possa variar, os métodos de remoção químico-mecânica (CMCR) apresentam vantagens claras em termos de conforto, aceitação, preservação tecidular e longevidade das restaurações. Os dados apontam para a sua aplicabilidade como uma alternativa eficaz e segura no tratamento da cárie, uma vez que minimizam estímulos, vibrações e ruídos típicos dos métodos convencionais. Estas características alinham-se com os princípios da abordagem minimamente invasiva e centrada no paciente, consolidando-se como opções viáveis e duradouras, especialmente em dentes posteriores sujeitos a maiores cargas funcionais.
- A natureza não invasiva do gel, aliada à sua ação seletiva sobre o tecido infetado, revelou-se particularmente vantajosa no contexto da saúde oral de populações vulneráveis, como mulheres grávidas e crianças, nas quais a redução do *stress* e da dor é essencial, reforçando o potencial dos agentes CMCR não apenas do ponto de vista técnico, mas também como ferramentas para melhorar a experiência do paciente e a adesão ao tratamento dentário.
- A utilização de tecnologias LASER representa uma alternativa viável e segura para a remoção de tecido cariado e preparação cavitária, contribuindo para um tratamento mais conservador e biocompatível oferecendo vantagens adicionais em termos de descontaminação, preservação estrutural e conforto do paciente.

- Apesar destes benefícios, a necessidade de equipamento específico, formação técnica adequada e maior tempo operatório, em alguns casos, são fatores que ainda podem limitar a sua aplicação rotineira em consultório. No entanto, a remoção seletiva com LASER surge como uma abordagem promissora no contexto das técnicas minimamente invasivas, promovendo a conservação dentária a longo prazo e melhorando os resultados clínicos, sobretudo quando criteriosamente aplicada e adaptada às características do substrato dentário.
- A evidência disponível demonstra que a remineralização biomimética é uma estratégia altamente eficaz para restaurar tecidos dentários de forma funcional e conservadora. A integração de sistemas que mimetizam os mecanismos naturais de mineralização, seja através de proteínas análogas, *scaffolds* bioativos ou biomateriais inovadores, oferece uma solução promissora para a preservação da estrutura dentária e a manutenção da vitalidade pulpar.
- As estratégias minimamente invasivas têm cada vez mais um papel de destaque na área da Medicina Dentária Conservadora e refletem uma tendência terapêutica em direção a um cuidado mais conservador e focado na saúde e respeito pelos tecidos duros dentários a longo prazo, promovendo também uma experiência menos traumática para a maioria dos pacientes. Deste modo, a combinação e a integração destas duas estratégias representa um avanço significativo na Dentisteria Operatória, permitindo um tratamento mais conservador e eficiente, promovendo assim a regeneração da estrutura dentária, otimizando não só os desfechos clínicos, como também favorecendo e redefinindo uma prática clínica mais biocompatível e baseada na evidência científica.

Apesar dos avanços obtidos, importa reconhecer que a maioria dos estudos foram conduzidos em ambientes laboratoriais (*in vitro*), sendo ainda necessários ensaios clínicos controlados e de longa duração para validar a eficácia destas estratégias na prática clínica quotidiana.

Tendo em conta estas limitações, este trabalho pode constituir um ponto de partida relevante para futuras investigações que procurem avaliar, de forma mais sistemática e controlada, o desempenho combinado destas abordagens minimamente invasivas. Tal contribuirá para fundamentar decisões clínicas mais informadas por parte dos Médicos Dentistas, promovendo tratamentos mais conservadores, eficazes e baseados em evidência científica.

Assim, estudos adicionais sobre este tema são necessários para corroborar os resultados obtidos e para alcançar conclusões significativas e congruentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Dorri M, Martinez-Zapata MJ, Walsh T, Marinho VCC, Sheiham (deceased) A, Zaror C. Atraumatic restorative treatment versus conventional restorative treatment for managing dental caries. Cochrane Database of Systematic Reviews. 2017;12(12).
2. Opal S, Garg S, Jain J, Walia I. Genetic factors affecting dental caries risk. Australian Dental Journal.2015; 60(1):2-11.
3. Torres PJ, Phan HT, Bojorquez AK, Garcia-Godoy F, Pinzon LM. Minimally Invasive Techniques Used for Caries Management in Dentistry. A Review. The Journal of Clinical Pediatric Dentistry. 2021;45(4):224-232.
4. Banerjee A, Frencken JE, Schwendicke F, Innes NPT. Contemporary operative caries management: consensus recommendations on minimally invasive caries removal. British Dental Journal. 2017;223(3):215-222.
5. Bahadır HS, Çelik Ç. The effect of Turkish dental practitioners' perceptions and experience of ICDAS II on caries treatment decisions. Journal of Oral Health and Oral Epidemiology.2022;215-22.
6. Philip N. State of the Art Enamel Remineralization Systems: The Next Frontier in Caries Management. Caries Research. 2019;53(3):284-295.
7. Giacaman RA, Muñoz-Sandoval C, Neuhaus KW, Fontana M, Chałas R. Evidence-based strategies for the minimally invasive treatment of carious lesions: Review of the literature. Advances in Clinical and Experimental Medicine. 2018; 27(7):1009-1016.
8. Desai H, Stewart CA, Finer Y. Minimally Invasive Therapies for the Management of Dental Caries - A Literature Review. Dentistry Journal. 2021; 9(12):147.
9. Dorri M, Dunne SM, Walsh T, Schwendicke F. Micro-invasive interventions for managing proximal dental decay in primary and permanent teeth (Review). Cochrane Database of Systematic Reviews. 2015;(11).
10. Lin Y, McColl E, Duncan HF. Top tips for minimally invasive dentistry in primary care. British Dental Journal. 2023;235(2):84-86.
11. Cao CY, Mei ML, Li QL, Lo EC, Chu CH. Methods for Biomimetic Remineralization of Human Dentine: A Systematic Review. International Journal of Molecular Sciences. 2015;16(3):4615-27.
12. Chen Z, Cao S, Wang H, Li Y, Kishen A, Deng X, et al. Biomimetic Remineralization of Demineralized Dentine Using Scaffold of CMC/ACP Nanocomplexes in an In Vitro Tooth Model of Deep Caries. PLOS ONE. 2015;10(1):0116553.
13. Schwendicke F, Innes N. Removal Strategies for Carious Tissues in Deep Lesions. Management of Deep Carious Lesions. 2018; 15–35.
14. Souza TF, Martins ML, Magno MB, Vicente-Gomila JM, Fonseca-Gonçalves A, Maia LC. Worldwide research trends on the use of chemical–mechanical caries removal products over the years: a critical review. European Archives of Paediatric Dentistry. 2022;23(6):869-883.
15. Maashi MS, Elkhodary HM, Alamoudi NM, Bamashmous NO. Chemomechanical caries removal methods: A literature review. The Saudi Dental Journal. 2023;35(3):233-243.
16. Marcelino GS, Lopes JHR, Faraoni JJ, Dias PC. The Use Of Er:Yag Laser For Dental Caries Removal. Stomatology Edu Journal. 2021; 8(3):173-183.
17. Zhang OL, Yin IX, Yu OY, Luk K, Niu JY, Chu CH. Advanced lasers and their applications in dentistry. Dentistry Journal. 2025;13(1):37.
18. Zhong B, Peng C, Wang G, Tian L, Cai Q, Cui F. Contemporary research findings on dentine remineralization. Journal of tissue engineering and regenerative medicine. 2015;9(9):1004-16.
19. Zafar MS, Amin F, Fareed MA, Ghabbani H, Riaz S, Khurshid Z, et al. Biomimetic Aspects of Restorative Dentistry Biomaterials. Biomimetics. 2020;5(3):34.
20. Liang K, Wang S, Tao S, Xiao S, Zhou H, Wang P, et al. Dental remineralization via poly (amido amine) and restorative materials containing calcium phosphate nanoparticles. International Journal of Oral Science. 2019;11(2):15.
21. Shamseer L, Moher D, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. BMJ (Clinical Research Edition).2015;4(1):1.

22. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ (Clinical Research Edition). 2021;29;10(1):89.
23. Labib ME, Hassanein OE, Moussa M, Yassen A, Schwendicke F. Selective versus stepwise removal of deep carious lesions in permanent teeth: a randomised controlled trial from Egypt—an interim analysis. BMJ Open. 2019;9: e030957.
24. Bjørndal L, Fransson H, Bruun G, Markvart M, Kjældgaard M, Näsman P, et al. Randomized Clinical Trials on Deep Carious Lesions: 5-Year Follow-up. Journal of Dental Research. 2017;96(7):747-753.
25. Bitello-Firmino L, Soares VK, Damé-Teixeira N, Parolo CCF, Maltz M. Microbial Load After Selective and Complete Caries Removal in Permanent Molars: A Randomized Clinical Trial. Brazilian Dental Journal. 2018; 29(3): 290-295.
26. Maltz M, Koppe B, Jardim JJ , Alves LS, Paula LM, Yamaguti PM, et al. Partial caries removal in deep caries lesions: a 5-year multicenter randomized controlled trial. Clinical Oral Investigations. 2018; 22:1337–1343.
27. Gözetici-Çil B, Erdem-Hepşenoğlu Y, Tekin A, Özcan M. Selective removal to soft dentine or selective removal to firm dentine for deep caries lesions ın permanent posterior teeth: a randomized controlled clinical trial up to 2 years. Clinical Oral Investigations. 2023; 27:2125–2137.
28. Jardim JJ, Mestrinho HD, Koppe B, Paula LM, Alves LS, Yamaguti PM, et al. Restorations after selective caries removal: 5-Year randomized trial. Journal of Dentistry. 2020; 99:103416.
29. Jardim JJ, Alves LS, Decourt RF, Paula LM, Mestrinho HD, Maltz M. Cost-effectiveness of selective caries removal versus stepwise excavation for deep caries lesions. Braz. Oral Res. 2023:37: e083.
30. Casagrande L, Seminario AT, Correa MB , Werle SB , Maltz M , Demarco FF, et al. Longevity and associated risk factors in adhesive restorations of young permanent teeth after complete and selective caries removal: a retrospective study. Clinical Oral Investigations. 2017;21(3):847-855.
31. Adham MM, El Kashlan MK, Abdelaziz WE, Rashad AS. Comparison of two minimally invasive restorative techniques in improving the oral health-related quality of life of pregnant women: a six months randomized controlled trial. BMC Oral Health. 2021; 30;21(1):221.
32. Gupta S , Pentapati KC, Acharya S. A Randomised Controlled Trial Comparing Chemomechanical (Carie-Care™) Versus Conventional Caries Removal for Atraumatic Restorative Treatment. The Scientific World Journal.2025; 2025:6689053.
33. Ali AH, Thani FB, Foschi F, Banerjee A, Mannocci F. Self-Limiting versus Rotary Subjective Carious Tissue Removal: A Randomized Controlled Clinical Trial-2-Year Results. Journal of Clinical Medicine. 2020; 25;9(9):2738.
34. Sontakke P, Jain P, Patil AD, Biswas G, Yadav P, Makkar DK, et al. A comparative study of the clinical efficiency of chemomechanical caries removal using Carie-Care gel for permanent teeth of children of age group of 12–15 years with that of conventional drilling method: A randomized controlled trial. Dental Research Journal. 2019; 16:42-6.
35. Elmarakby AM, Habib SFK, Alkhaldy IM, AlJasser RM , Elsebaey LML. Comparative study for assessment of two different minimally invasive caries removal techniques. BMC Oral Health. 2025; 25(1):196.
36. Ismail MMM, Al Haidar AHMJ. Evaluation of the Efficacy of Caries Removal Using Papain Gel (Brix 3000) and Smart Preparation Bur (in vivo Comparative Study). Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2019; 11(2):444-449.
37. Santos TML , Bresciani E, Matos FS, Camargo SEA, Hidalgo APH, et al. Comparison between conventional and chemomechanical approaches for the removal of carious dentin: an in vitro study. Scientific Reports. 2020;10(1):8127.
38. Al-Badri H, Al-Taee LA, Banerjee A, Al-Shammaree SA. An in-vitro evaluation of residual dentin retained after using novel enzymatic-based chemomechanical caries removal agentes.Scientific Reports. 2024;14(1):19223.
39. Al-Sagheer RM , Addie AJ , Al-Taee LA. An in vitro assessment of the residual dentin after using three minimally invasive caries removal techniques. Scientific Reports. 2024;14(1):7087.
40. Hamama HHH, Yiu CKY, Burrow MF. Effect of chemomechanical caries removal on bonding of resin-modified glass ionomer cement adhesives to caries-affected dentine. Australian Dental Journal. 2015;60(2):190-9.

41. Ishii K, Kita T, Yoshikawa K, Yasuo K, Yamamoto K, Awazu K. Selective removal of carious human dentin using a nanosecond pulsed laser operating at a wavelength of 5.85 μm. Journal of Biomedical Optics. 2015;20(5):051023.
42. Chan KH, Fried D. Selective Ablation of Dental Caries Using Coaxial CO2 (9.3-μm) and Near-IR (1880-nm) Lasers. Lasers Surg Med. 2019; 51(2): 176–184.
43. Kanar Ö, Tağtekin D, Korkut B, Yanıkoğlu F, Kargül B. Accuracy of laser fluorescence in assessment of various caries removal techniques: an in vitro validation. BMC Oral Health. 2024;24(1):1529.
44. Melo MA, Lima JP, Passos VF, Rodrigues LK. The Influence of Dentin Demineralization on Morphological Features of Cavities Using Er:YAG Laser. Photomedicine and Laser Surgery. 2015;33(1):22-8.
45. Baraba A, Kqiku L, Gabrić D, Verzak Ž, Hanscho K, Miletić I. Efficacy of removal of cariogenic bacteria and carious dentin by ablation using different modes of Er:YAG lasers. Brazilian Journal of Medical and Biological Research. 2018;51(3): e6872.
46. Cebe F, Bulbul M, Simsek I, Cebe MA, Oztur B. Effect of Erbium:yttrium Aluminum Garnet Laser on Bond Strength of a Total-etch Adhesive System to Caries-affected Dentin on Gingival Wall. Nigerian Journal of Clinical Practice. 2017; 20:734-40.
47. Katirci G, Ermis RB. Microindentation hardness and calcium/phosphorus ratio of dentin following excavation of dental caries lesions with different techniques. SpringerPlus. 2016;5(1):1641.
48. Yan R , Chan KH , Tom H, Simon JC, Darling CL , Fried D. Selective removal of dental caries with a diode-pumped Er:YAG laser. Proc SPIE Int Soc Opt Eng. 2015; 9306.
49. Valério RA, Galo R, Galafassi D, Corona SAM , Borsatto MC. Four-year clinical prospective follow-up of resin composite restoration after selective caries removal using Er:YAG laser. Clinical Oral Investigations. 2020;24(7):2271-2283.
50. Medioni E, Rocca JP, Fornaini C, Merigo E. Histological evaluation of three techniques for caries removal. Journal of Oral Science. 2016;58(4):583-589.
51. Zhou Z , Ge X, Bian M, Xu T, Li N , Lu J, Yu J. Remineralization of dentin slices using casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate combined with sodium tripolyphosphate. BioMedical Engineering OnLine. 2020;19(1):18.
52. Chen Z, Cao S, Wang H, Li Y, Kishen A, Deng X, et al. Biomimetic Remineralization of Demineralized Dentine Using Scaffold of CMC/ACP Nanocomplexes in an In Vitro Tooth Model of Deep Caries. PLoS ONE. 2015;10(1):e0116553.
53. Saxena N, Habelitz S, Marshall GW, Gower LB. Remineralization of demineralized dentin using a dual-analog system. Orthod Craniofac Res. 2019; 22 (Suppl 1):76-81.
54. Aras A, Celenk S, Atas O. Comparison of traditional and novel remineralization agents: A laser fluorescence study. Journal Oral Health Oral Epidemiology. 2020; 38-44.
55. Schwendickea F, Al-Abdia A, Moscardób AP, Cascalesb AF, Sauro S. Remineralization effects of conventional and experimental ion-releasing materials in chemically or bacterially-induced dentin caries lesions. Dental Materials. 2019;35(5):772-779.
56. Daneshpoor N, Pishevar L. Comparative evaluation of bioactive cements on biomimetic remineralization of dentin. Journal of Clinical and Experimental Dentistry. 2020;12(3):e291-9.
57. Zhao L, Sun J, Zhang C, Chen C, Chen Y, Zheng B, et al. Effect of aspartic acid on the crystallization kinetics of ACP and dentin remineralization. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2021;104226.
58. Babaie E, Bacino M, White J, Nurrohman H, Marshall GW, Saeki K, et al. PILP remineralization of artificial and natural dentin carious lesions evaluated by nanoindentation and microcomputed tomography. Journal of Dentistry. 2021; 109:103659.
59. Hoefler V, Nagaoka H, Miller CS. Long-term survival and vitality outcomes of permanent teeth following deep caries treatment with step-wise and partial-caries-removal: A Systematic Review. Journal of Dentistry. 2016; 54:25-32.
60. Al-Ali M, Camilleri J. The scientific management of deep carious lesions in vital teeth using contemporary materials - a narrative review. 2022; 3:1048137.

ANEXOS

VII. ANEXOS

7.1. Índice ICDAS II

ICDAS II CRITERIA		DEFINITION
ICDAS 0		Sound enamel surface (After drying the enamel surface for 5 seconds, there is no evidence of caries.)
ICDAS 1		The first visual changes in the enamel (There is no sign in the enamel when the tooth surface is moist. There are opacity or color changes that can be observed after the surface has been dried with air for 5 seconds.)
ICDAS 2		Significant visual changes in enamel (Opacity or color changes are observed when the tooth is both moist and dry.)
ICDAS 3		Regional enamel destruction (When the tooth is dried, tissue loss is observed, but it does not contain dentin tissue.)
ICDAS 4		Dark shade reflected from dentine (The structural integrity of the enamel tissue may or may not be deteriorated.)
ICDAS 5		Visible cavitation formation including dentine
ICDAS 6		Large carious cavity with dentine

Tabela 8. Códigos e Critérios ICDAS II.
Adaptado de Bahadır HS, Çelik Ç. The effect of Turkish dental practitioners' perceptions and experience of ICDAS II on caries treatment decisions. Journal of Oral Health and Oral Epidemiology.2022;215-22.

7.2. Figuras Referenciadas na Discussão

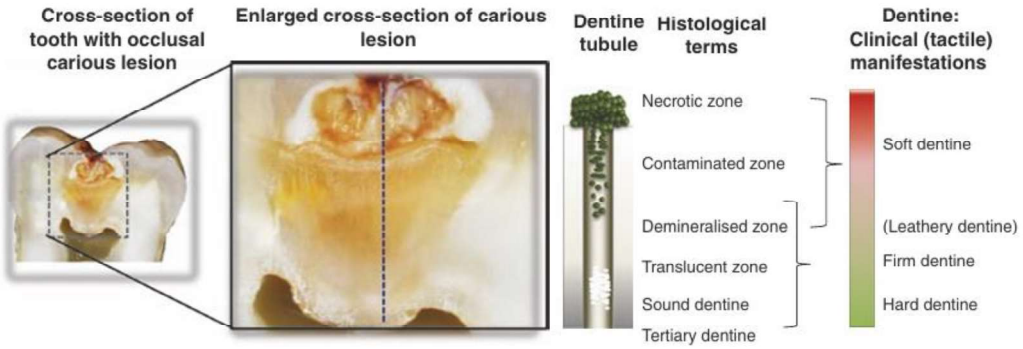


Figura 2. Representação esquemática da lesão cariosa cavitada.
Adaptado de Banerjee A, Frencken JE, Schwendicke F, Innes NPT. Contemporary operative caries management: consensus recommendations on minimally invasive caries removal. British Dental Journal. 2017;223(3):215-222.

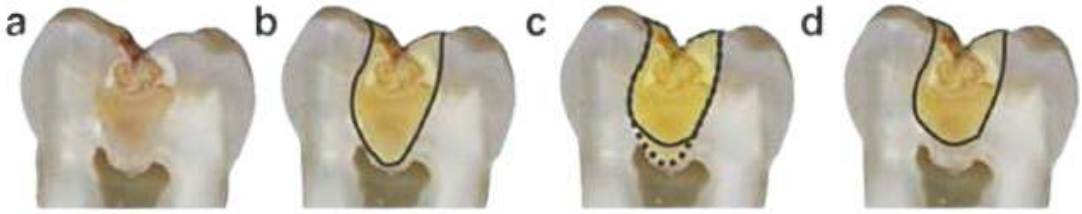


Figura 3. Estratégias de remoção para lesões cariosas profundas em dentes com polpas vitais:
a) Lesão cariosa profunda.
b) Remoção não seletiva até à dentina firme.
c) Remoção gradual/ em etapas.
d) Remoção seletiva de dentina mole.
Adaptado de Schwendicke F, Innes N. Removal Strategies for Carious Tissues in Deep Lesions. Management of Deep Carious Lesions. 2018; 15–35.

7.3. Figuras Referenciadas na Discussão

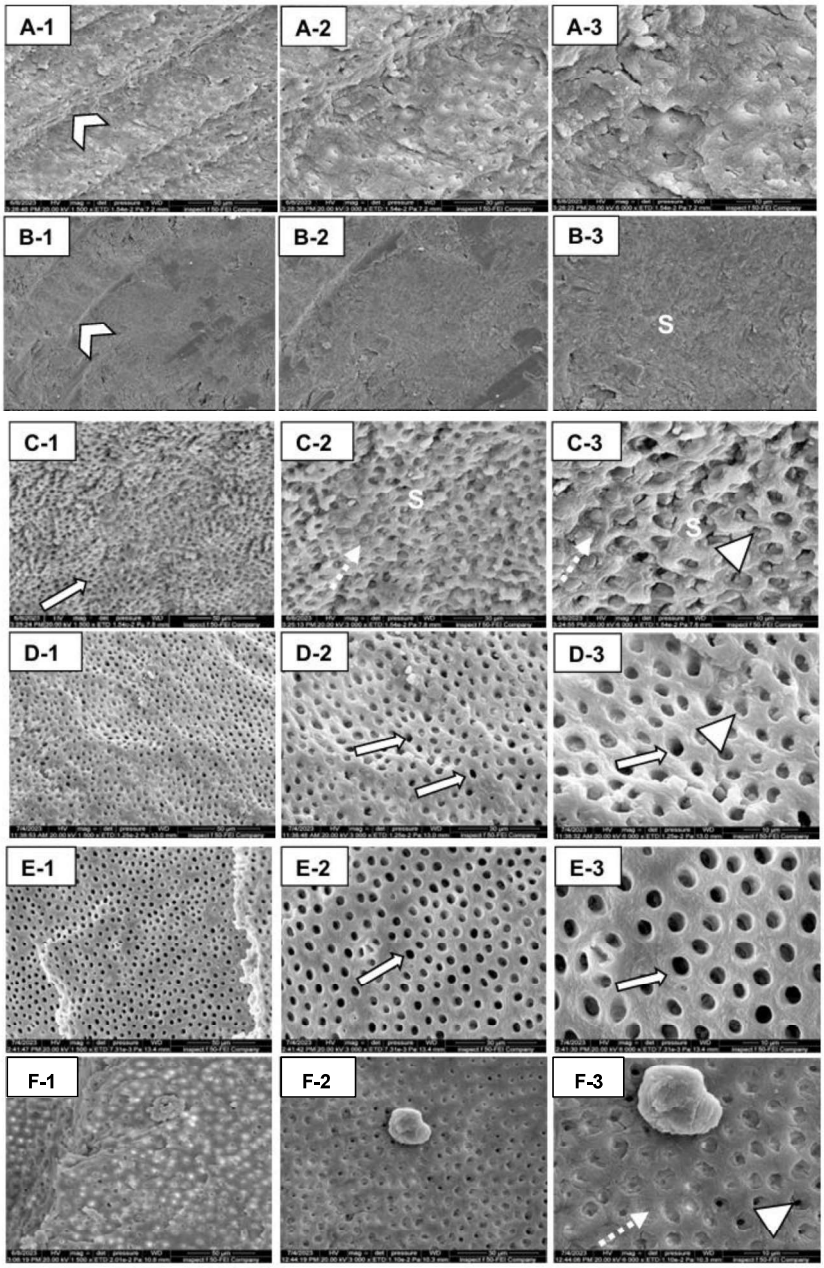


Figura 4. Micrografias de microscopia eletrónica de varrimento da dentina residual após:

A-1 a A-3: Remoção manual.
B-1 a B-3: Remoção rotatória (brocas).
C-1 a C-3: *BRIX3000®.*
D-1 a D-3: Gel de bromelina.
E-1 a E-3: Gel de bromelina com cloramina-T.
F-1 a F-3: Gel de bromelina com clorexidina.

Adaptado de Al-Badri H, Al-Taee LA, Banerjee A, Al-Shammaree SA. An in-vitro evaluation of residual dentin retained after using novel enzymatic-based chemomechanical caries removal agentes. Scientific Reports. 2024;14(1):19223.

7.4. Figuras Referenciadas na Discussão

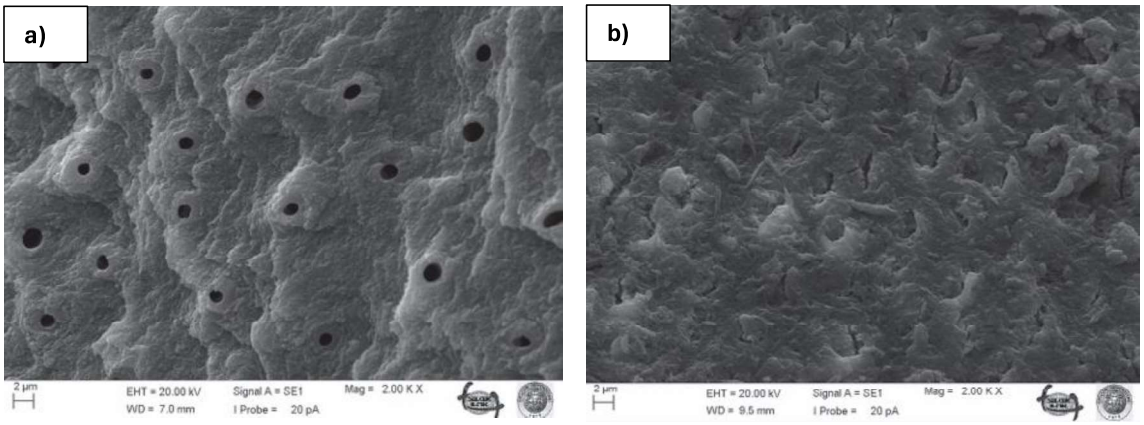


Figura 5: Micrografias de microscopia eletrónica de varrimento ilustrando o conjunto aspeto morfológico da dentina afetada por cárie após:

a) LASER Er:YAG.

b) Brocas rotativas convencionais.

Adaptado de Cebe F, Bulbul M, Simsek I, Cebe MA, Oztur B. Effect of Erbium:yttrium Aluminum Garnet Laser on Bond Strength of a Total-etch Adhesive System to Caries-affected Dentin on Gingival Wall. Nigerian Journal of Clinical Practice. 2017; 20:734-40.

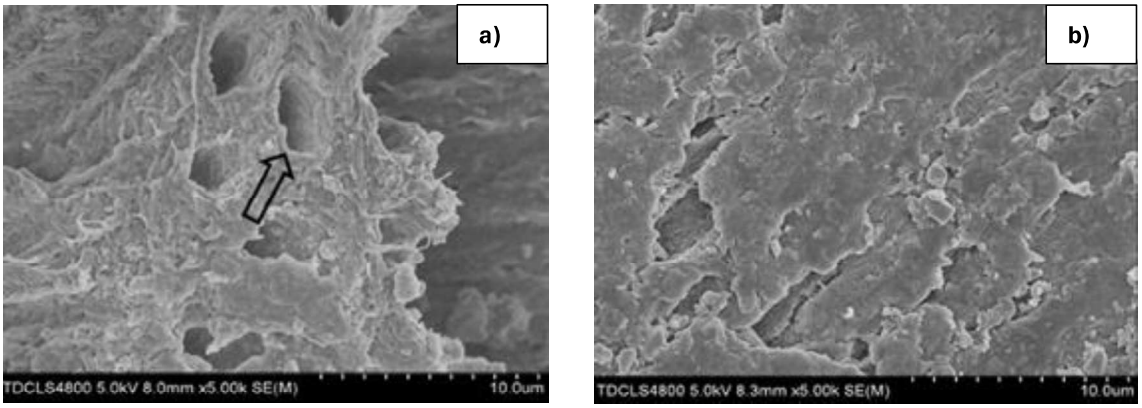


Figura 6. Morfologia da superfície e composições elementares de amostras representativas de dentina completamente desmineralizada caracterizadas por SEM:

a) Amostra tratada com CMC/ACP, mostrando orifícios dos túbulos dentinários renaturados (seta).

b) Amostra tratada com hidróxido de cálcio.

Adaptado de Chen Z, Cao S, Wang H, Li Y, Kishen A, Deng X, et al. Biomimetic Remineralization of Demineralized Dentine Using Scaffold of CMC/ACP Nanocomplexes in an In Vitro Tooth Model of Deep Caries. PLoS ONE. 2015;10(1): e0116553.

7.5. Figuras Referenciadas na Discussão

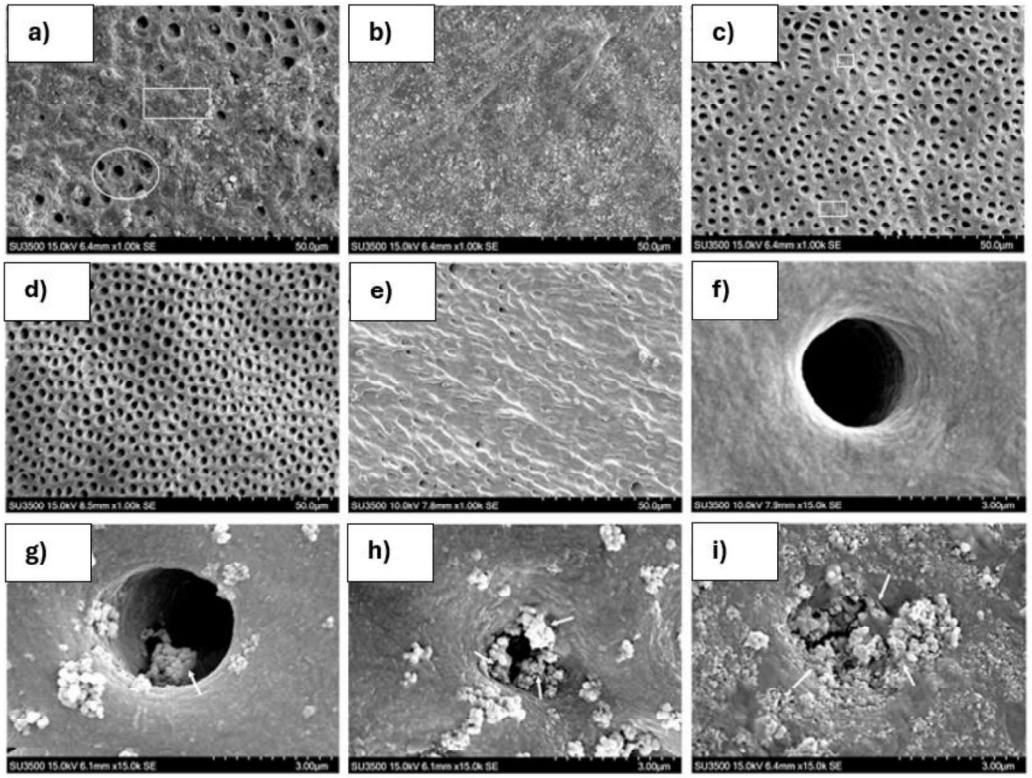


Figura 7. Micrografias de microscopia eletrónica de varrimento (SEM):

a) CPP-ACP após tratamento por 21 dias (SEM ×1000).
b) Combinado CPP-ACP + TPP após tratamento por 21 dias (SEM ×1000).
c) Saliva artificial após tratamento por 21 dias (SEM ×1000).
d) Dentina desmineralizada, controlo negativo (SEM ×1000).
e) Dentina natural, controlo positivo (SEM ×1000).
f) Dentina desmineralizada (SEM ×15.000).
g), h), i) Combinado CPP-ACP + TPP após tratamento 7,14 e 21 dias, respetivamente SEM (×15.000).

A área retangular representa a área ocluída dos túbulos dentinários, a área circular é a área não ocluída dos túbulos dentinários, e a área indicada pela seta é o material remineralizado.

Adaptado de Zhou Z, Ge X, Bian M, Xu T, Li N, Lu J, Yu J. Remineralization of dentin slices using casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate combined with sodium tripolyphosphate. BioMedical Engineering OnLine. 2020;19(1):18.

7.6. Figuras Referenciadas na Discussão

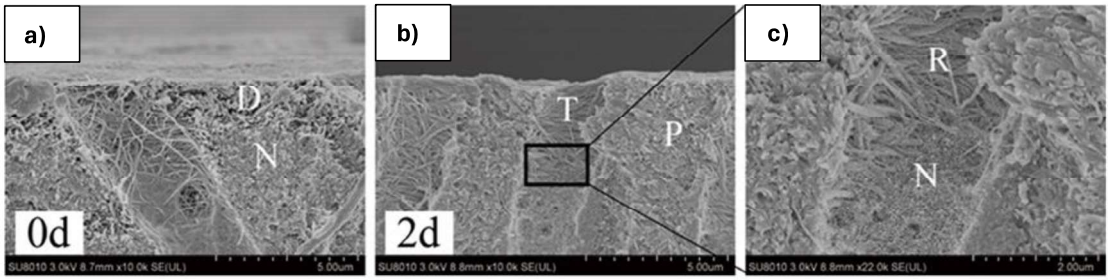


Figura 8. Morfologia SEM das fibras de colagénio nos túbulos dentinários da dentina em seção longitudinal:

- **a)** Secção de dentina desmineralizada no grupo controlo negativo.
- **b)** Secção longitudinal da dentina desmineralizada no grupo experimental Asp após dois dias de mineralização.
- **c)** Ampliação local da caixa em **b).**

D: dentina desmineralizada; **N:** dentina natural; **R:** dentina remineralizada; **P:** dentina intertubular.

Adaptado de Zhao L, Sun J, Zhang C, Chen C, Chen Y, Zheng B, et al. Effect of aspartic acid on the crystallization kinetics of ACP and dentin remineralization. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2021;104226.

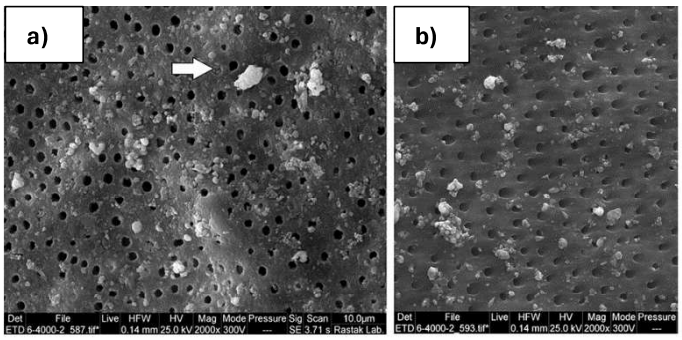


Figura 9. Imagens SEM (a e b) de dentina tratada com Biodentine®.

A seta indica a deposição de apatite na abertura do túbulo dentinário e a oclusão do mesmo.

Adaptado de Daneshpoor N, Pishevar L. Comparative evaluation of bioactive cements on biomimetic remineralization of dentin. Journal of Clinical and Experimental Dentistry. 2020;12(3): e291 9.