



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA INTEGRADA

CLAUDIA CRISTINA DELGADO VIÇÔZO

**EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS
EM ADESIVOS DENTINÁRIOS: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA E ENSAIO LABORATORIAL**

Maringá
2024



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA INTEGRADA

CLAUDIA CRISTINA DELGADO VIÇÔZO

**EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS
EM ADESIVOS DENTINÁRIOS: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA E ENSAIO LABORATORIAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia Integrada da Universidade Estadual de Maringá-UEM, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Odontologia Integrada.

Orientadora: Profa. Dra. Débora Lopes Salles Scheffel

Maringá
2024

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

V639e	Viçôzo, Claudia Cristina Delgado Efeito da incorporação de nanopartículas em adesivos dentinários : uma revisão sistemática e ensaio laboratorial / Claudia Cristina Delgado Viçôzo. -- Maringá, PR, 2025. 159 f. : il. color., figs., tabs. Orientadora: Profa. Dra. Débora Lopes Salles Scheffel. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências da Saúde, Departamento de Odontologia, Programa de Pós-Graduação em Odontologia, 2025. 1. Nanopartículas cerâmicas. 2. Nanotecnologia. 3. Adesivos dentinários. I. Scheffel, Débora Lopes Salles, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências da Saúde. Departamento de Odontologia. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. III. Título. CDD 23.ed. 617.6
-------	---

Claudia Cristina Delgado Viçôzo

“Efeito da incorporação de nanopartículas em materiais restauradores resinosos: uma revisão sistemática e ensaio laboratorial”

Este trabalho de conclusão de Doutorado foi julgado e aprovado para obtenção do título de Doutora em Odontologia Integrada através da Universidade Estadual de Maringá

Tese aprovada em: 29/08/2024

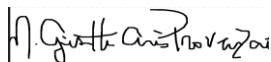
BANCA EXAMINADORA



Presidente – Prof^a. Dra. Debora Lopes Salles Scheffel
Universidade Estadual de Maringá (UEM)



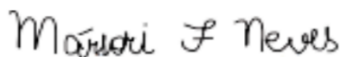
Membro Avaliador – Prof^a. Dra. Gabriela Cristina Santin
Universidade Estadual de Maringá (UEM)



Membro Avaliador – Prof^a. Dra. Maria Gisette Arias Provenzano
Universidade Estadual de Maringá (UEM)



Membro Avaliador – Prof. Dr. Fabiano Jeremias
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos (UNIFEB)



Membro Avaliador – Prof^a. Dra. Márjori Frítola Neves
Faculdade de Odontologia / Universidade Norte do Paraná (FO/ UNOPAR)

DADOS CURRICULARES

Claudia Cristina Delgado Viçôzo

Nascimento: 28/01/1988, Nova Granada, SP

Filiação: João Luis Delgado
Carmem Patricia de Souza Delgado

2008 - 2012: Graduação em Odontologia pela Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista – UNESP

2012 - 2015: Curso de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Área de Concentração Odontopediatria, Nível de Mestrado, na Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista – UNESP

2019 - 2023: Curso de Pós-Graduação em Odontologia Integrada, Nível de Doutorado, na Universidade Estadual de Maringá – UEM

DEDICATÓRIA

“Não sabes, não ouviste que o eterno Deus, o Senhor, o Criador dos fins da terra, nem se cansa nem se fatiga? É inescrutável o seu entendimento. Dá força ao cansado, e multiplica as forças ao que não tem nenhum vigor. Os jovens se cansarão e se fatigarão, e os moços certamente cairão. Mas os que esperam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigarão.”
(Isaias 40:28-30)

A Deus, em primeiro lugar, que em Sua infinita bondade sempre se fez e faz presente em minha vida; proporcionando as melhores oportunidades, abrindo portas e dando-me forças para persistir e realizar meus sonhos. Até aqui o Senhor me sustentou e nunca me abandonou, a Ele toda a honra e glória!

À minha família, por acreditarem na viabilidade desse sonho e contribuírem para a sua concretização. Todo apoio e amor incondicional dedicados a mim, me nutriram e impulsionaram para o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

(Trecho de uma carta de Newton para Robert Hooke, 5 de fevereiro de 1676)

Expressar gratidão é uma das maiores virtudes que um ser humano por ter em vida e, de fato, esse sonho não teria se tornado realidade sem o conhecimento e apoio de muitos gigantes.

Aos meus pais *João e Carmem*, que me propiciaram uma vida digna onde eu pudesse crescer, acreditando que tudo é possível, desde que sejamos honestos e íntegros de caráter. Muito obrigada por todos os sonhos que por vezes abdicaram para fazer com que eu e meu irmão pudéssemos trilhar nossas vidas de uma forma mais tranquila. Desejo poder ter sido merecedora de todo esforço dedicado por vocês em todos os aspectos, especialmente quanto à minha formação pessoal e profissional. Se eu chego com mérito ao fim dessa jornada, ele é tanto meu quanto de vocês!

Ao meu esposo *Jailton*, cuja paciência, compreensão, companheirismo e amor foram cruciais para lidar com minhas angústias e anseios durante os dias tão atarefados que precederam a entrega deste trabalho. *“Amor, você foi uma peça fundamental para mais esta conquista. Deus me reservou algo tão valioso e perfeito que se eu tentasse agradecer pelo resto da vida, ainda assim, não seria suficiente. Você me inspira, me motiva e me faz querer ser sempre melhor. Obrigada por sempre acreditar em mim e apoiar meus sonhos. Te amo!”*

À minha orientadora *Profa. Dra. Débora Lopes Salles Scheffel* que sempre acreditou em meu potencial, apoiou, incentivou e proporcionou grandes oportunidades. Sou extremamente grata por ter me escolhido e acolhido desde o meu 3º ano de graduação em 2010 na UNESP através da Iniciação Científica. A partir desse momento, você sempre me motivou e inspirou de forma singular para que eu trilha-se o caminho da ciência. Obrigada pela generosidade em

compartilhar conhecimento, por me encorajar a superar todos os obstáculos, por guiar com excelência os caminhos desse trabalho e pela disponibilidade dispensada diante de todas as fases e desafios dessa pesquisa. Tenho total admiração à sua trajetória pessoal e profissional. Agradeço a Deus pelo privilégio de ser sua orientada e, tenho certeza de que fiz a melhor escolha. Minha eterna gratidão!

Ao meu irmão *João Luís*, com quem sempre posso contar, compartilhando as alegrias e angústias. Obrigada por estar presente em todos os momentos da minha vida, apesar da distância física. Somos tão diferentes e ao mesmo tempo tão iguais. Eu não seria completa sem você!

À minha vó *Encarnação*, por todo amor e carinho possível, e pela experiência de vida transmitida que contribui diretamente para o meu crescimento. Sou grata por sempre desejar o melhor para mim e por me incluir em suas orações para que eu pudesse superar cada obstáculo da minha trajetória do doutorado.

Aos meus sogros, *Osmar e Antônia*, por terem me recebido de coração aberto na sua família e por sempre me tratarem como uma filha. Minha gratidão por todo o apoio e estímulo que me deram para que eu conseguisse realizar este sonho. Eu não poderia ter ganhado segundos pais melhores!

Aos meus filhos de quatro patas, *Mel e Toby*, minha dose diária de alegria. Agradeço por me presentear com amor sincero e puro, companheirismo e lealdade. A presença de vocês tornou os meses dedicados a este trabalho mais leves e tranquilos. Obrigada por existirem, obrigada por tanto!

Aos meus amigos de longa data *Régis e Evélin*, dos quais sinto imensa saudade. Agradeço pela amizade e fico feliz em saber que, independentemente da distância e do tempo, posso contar sempre com vocês!

A minha amiga e companheira de trabalho *Solange*, pelo carinho, lealdade e preocupação demonstrada durante esses tempos de convivência no trabalho e na vida pessoal. Todas as conversas, risadas e choros são necessárias com você. Obrigada por sempre ser tão solícita!

À *Tereza*, minha companheira de doutorado, com quem compartilhei tanto preocupações e aflições quanto descobertas e conquistas durante esta caminhada. Obrigada por sempre estar disposta a ajudar e pela amizade construída ao longo dessa trajetória.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

“Feliz aquele que transfere o que sabe
e aprende o que ensina”

(Cora Coralina)

Como todo longo e árduo trabalho, torna-se essencial a participação de outras pessoas e instituições, para que o sonho se torne realidade. Por isso, não poderia deixar de agradecer a todos que contribuíram para que eu chegasse até aqui.

À Universidade Estadual de Maringá - UEM, em nome do magnífico Reitor *Prof. Dr. Leandro Vanallie* e Vice-Reitora *Profa. Dra. Gisele Mendes de Carvalho*.

Ao Departamento do Curso de Odontologia da Universidade Estadual de Maringá - UEM representado pelo Coordenador de Departamento *Prof. Dr. Luiz Fernando Lolli* e Coordenadora conjunta *Profa. Dra. Flávia Matarazzo Martins* pelas oportunidades proporcionadas aos alunos desta Universidade.

Aos professores da Disciplina de Odontopediatria do Departamento de Odontologia da Universidade Estadual de Maringá - UEM, *Maria Gisette Arias Provenzano, Gabriela Cristina Santin, Marina de Lourdes Fracasso e Fabricio Monteiro de Castro Machado* por seus valiosos conhecimentos e pela incansável busca da qualidade do ensino.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Odontologia Integrada do Departamento de Odontologia da Universidade Estadual de Maringá – UEM representado pelo *Prof. Dr. Cléverson de Oliveira e Silva* e pela *Profa. Dra. Gabriela Cristina Santin*, pela condução do curso de pós-graduação com extrema dedicação e competência.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Odontologia Integrada do Departamento de Odontologia da Universidade Estadual de

Maringá – UEM por todo conhecimento compartilhado, dedicação e empenho em nossa formação como doutorandos.

À Faculdade de Odontologia da Universidade de Kentucky em Lexington – EUA pela oportunidade e recursos disponibilizados para o desenvolvimento do estudo *in vitro*.

À minha banca de defesa de Doutorado, *Profa. Dra. Gabriela Cristina Santin, Profa. Dra. Maria Gisette Arias Provenzano, Profa. Dra. Márjori Frítola Neves e Prof. Dr. Fabiano Jeremias* por disponibilizarem seu tempo para compartilhar um dos momentos mais importantes de minha vida. Obrigada por dividirem seus conhecimentos e agregarem à cada página deste trabalho um pouco de si. Vocês são parte essencial para que isso este sonho se concretize.

À equipe administrativa do Departamento de Odontologia da Universidade Estadual de Maringá - UEM, pela gentileza e presteza, em especial a *Sra. Sonia Maria Borean Borghi* pela atenção, sempre querida, solícita, competente e preocupada conosco, os alunos... quanto carinho por nós!

À todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse concluído com êxito.

.

Viçôzo CCD. Efeito da incorporação de nanopartículas em adesivos dentinários: uma revisão sistemática e ensaio laboratorial [Tese] Doutorado em Odontologia Integrada. Maringá: Universidade Estadual de Maringá; 2024.

RESUMO

Objetivos: Este trabalho, que está dividido em 2 estudos, se propôs a (1) analisar, através de uma revisão sistemática, a efetividade clínica de adesivos dentinários beneficiados pela incorporação de nanopartículas e; (2) avaliar o efeito da inclusão de nanopartículas cerâmicas em um adesivo experimental na liberação de íons cálcio. **Métodos:** Estudo 1. Para esta revisão sistemática foi realizada busca nas bases de dados PubMed-MEDLINE, Scopus, Clinical Trials.gov e Google Scholar. A estratégia de busca foi baseada na seleção de descritores controlados obtidos nas bases DeCS (Descritores em Ciências da Saúde) e MeSH (Medical Subject Headings) e nos termos livres mais citados na literatura publicada. A partir dos critérios de elegibilidade, foram incluídos ensaios clínicos controlados randomizados e estudos *in vitro* publicados entre os anos de 2015 a 2024 e em inglês. Em seguida, foi realizada a leitura completa dos artigos incluídos para extração e categorização dos dados para uma melhor visualização e compreensão dos resultados. Propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas dos adesivos dentinários beneficiados pela incorporação de nanopartículas foram analisadas e descritas. Estudo 2. Foi desenvolvido um adesivo experimental contendo nanopartículas cerâmicas (AE). A mesma formulação resinosa, sem nanopartícula foi usada como controle (GC). Corpos de prova foram confeccionados (n=10) a partir de matrizes plásticas transparentes. Para a análise do potencial remineralizador, foi avaliado a liberação de íons cálcio pelos corpos de prova armazenados em água Mili-Q por 24 horas. O meio de armazenamento foi utilizado para a análise de liberação destes íons por colorimetria. **Resultados:** Estudo 1. Na revisão sistemática foram identificados 733 estudos, mas apenas 103 artigos permaneceram para análise, sendo 4 ensaios clínicos controlados e 99 estudos *in vitro*. Foi observado que as nanopartículas avaliadas em nível laboratorial quanto as propriedades físico-químicas, biológicas e mecânicas apresentaram resultados promissores

em baixas concentrações, porém mais ensaios clínicos são necessários para ratificar esses achados. Estudo 2. O teste colorimétrico não apontou presença de cálcio nas amostras pertencentes ao grupo controle ($0 \pm 0,07$ ug/well). Embora, a média de liberação de cálcio pelos espécimes do grupo experimental tenha sido de $0,46 \pm 0,4$ ug/well, não foi identificada diferença estatisticamente significativa entre os grupos após 24 horas de armazenamento (teste-t; $p=0,1658$). **Conclusão:** A adição de nanopartículas nos adesivos dentinários é uma abordagem viável em baixas concentrações e pode ser uma alternativa para promover melhores propriedades físico-químicas, biológicas e mecânicas e aumentar a estabilidade da interface resina-dentina, o desempenho clínico dos adesivos dentinários e a longevidade do tratamento restaurador. O adesivo experimental formulado foi capaz de liberar cálcio no meio de armazenamento. No entanto, a liberação ocorre de forma lenta, não sendo significativa nas primeiras 24 horas.

Palavras-chave: Nanopartículas, nanotecnologia, adesivos dentinários, efetividade clínica.

Viçôzo CCD. Effect of incorporation of nanoparticles in dentin-bonding agents: a systematic review and laboratory test [Tese] Doutorado em Odontologia Integrada. Maringá: Universidade Estadual de Maringá; 2024

ABSTRACT

Objectives: This work, which is divided into 2 studies, set out to (1) analyze, through a systematic review, the clinical effectiveness of dentin-bonding agents benefiting from the incorporation of nanoparticles and; (2) evaluate the effect of including ceramic nanoparticles in an experimental adhesive on the release of calcium ions. **Methods:** Study 1: For this systematic review, the PubMed-MEDLINE, Scopus, Clinical Trials.gov and Google Scholar databases were searched. The search strategy was based on the selection of controlled descriptors obtained from the DeCS (Descriptors in Health Sciences) and MeSH (Medical Subject Headings) databases and the most cited free terms in the published literature. Based on the eligibility criteria, randomized controlled clinical trials and in vitro studies published between 2015 and 2024 and in English were included. The included articles were then read in full to extract and categorize the data for better visualization and understanding of the results. Biological, physicochemical and mechanical properties of dentin-bonding agents benefiting from the incorporation of nanoparticles were analyzed and described. Study 2: An experimental adhesive containing ceramic nanoparticles (CNP) was developed. The same resin formulation without nanoparticles was used as a control (CG). Specimens were made (n=10) from transparent plastic matrices. To analyze the remineralizing potential, the release of calcium ions by the test specimens stored in Mili-Q water for 24 hours was evaluated. The storage medium was used to analyze the release of these ions by colorimetry. **Results:** Study 1. 733 studies were identified in the systematic review, but only 103 articles remained for analysis, including 4 controlled clinical trials and 99 in vitro studies. It was observed that the nanoparticles evaluated at the laboratory level regarding their physical-chemical, biological and mechanical properties presented promising results at low concentrations, but more clinical trials are needed to ratify these findings. Study 2: The colorimetric test showed no calcium in the samples belonging to the control group (0 ± 0.07 ug/well). Although the average calcium release by the experimental group specimens was 0.46 ± 0.4 ug/well, no

statistically significant difference was identified between the groups after 24 hours of storage (t-test; $p=0.1658$). **Conclusion:** The addition of nanoparticles to dentin-bonding agents is a viable approach at low concentrations and may be an alternative to promote better physicochemical, biological and mechanical properties and increase the stability of the resin-dentin interface, the clinical performance of dentin-bonding agents and the longevity of restorative treatment. The experimental adhesive formulated was able to release calcium into the storage medium. However, the release occurs slowly and is not significant in the first 24 hours.

Keywords: Nanoparticles, nanotechnology, dentin-bonding agents, clinical effectiveness.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2.JUSTIFICATIVA.....	22
3.PROPOSIÇÃO.....	23
3.1. Objetivo Geral.....	23
3.2. Objetivo Específico.....	23
4. HIPÓTESES.....	24
5.ESTUDO 1.....	25
6.ESTUDO 2.....	112
7.DISSCUSSÃO.....	114
8.CONCLUSÃO.....	121
REFERÊNCIAS.....	122
APÊNDICE.....	154
ANEXOS.....	156

1 INTRODUÇÃO

O advento dos materiais restauradores à base de resina caracterizou um dos avanços mais notórios na Odontologia Restauradora nas últimas décadas. Entre estes materiais, os adesivos dentinários tem se destacado na prática clínica por apresentar um mecanismo de adesão ao esmalte e à dentina alicerçado em princípios de prevenção e conservação das estruturas dentais (Tyas et al. 2000, Lynch et al. 2014).

O adesivo dentinário é o material que têm por função promover a união entre o substrato dental e a resina composta, sendo que o sucesso do tratamento restaurador se baseia na longevidade desta união (Wang & Spencer 2003). Diante disso, o ideal é que o adesivo seja capaz de estabelecer uma união forte, duradoura e igualmente efetiva tanto no esmalte quanto na dentina, apesar de serem estruturas que apresentam composições com naturezas diferentes, tanto a nível orgânico como inorgânico (Van Meerbeek et al. 2011, Perdigão et al. 2012).

O esmalte dentário é uma estrutura altamente mineralizada constituída por 94-96% de conteúdo inorgânico, sendo a maioria cristais de hidroxiapatita e 4% de substância orgânica e água, visto que a adesão ao esmalte fundamenta-se no condicionamento deste substrato com ácido fosfórico, o qual irá criar microporosidades onde o adesivo se infiltrará e será fotopolimerizado resultando em uma adesão duradoura e efetiva. A dentina possui cerca de 70% de material inorgânico, 20% orgânica (colágeno tipo I) e 10% de água, o que a caracteriza como um substrato heterogêneo com alterações fisiológicas e patológicas que tornam o mecanismo de adesão mais complexo. Seu componente inorgânico consiste, em sua maioria, de cristais de hidroxiapatita e a fase orgânica é constituída pelas fibrilas de colágeno. Além disso, a presença de múltiplos túbulos que estendem até o tecido pulpar e são preenchidos ainda por fluidos, tornam esse substrato naturalmente úmido. Outro fator a ser considerado, é a presença da smear layer, camada de restos dentinários formada pelos cortes dos instrumentos rotatórios, sangue, saliva e outros, que conjuntamente reduz a permeabilidade da dentina (Nagarkar et al. 2019, Van Meerbeek et al. 2020, Perdigão et al. 2021).

Diante disso, o condicionamento ácido na dentina desmineraliza e também remove a smear layer, expondo assim a rede de fibrilas de colágenas que compõem a estrutura, seguido pela infiltração de maneira completa do adesivo e polimerização o que culmina na formação da camada híbrida (Meerbeek et al. 2020, Perdigão et al. 2021)

Logo, se um adesivo dentinário não se adere de forma eficiente ao substrato dentinário devido a uma deficiente co-polimerização, contração de polimerização e/ou baixo grau de conversão pode ocorrer a formação de fendas ou “gaps” na interface dente-restauração (Yu et al. 2014, Cadenaro et al. 2019, Perdigão et al. 2020, Van Meerbeeck et al. 2020). Essas fendas ou “gaps” permitem a passagem de fluidos e bactérias, criando condições para a existência de microinfiltrações, uma das principais causas que levam à degradação da interface dente-restauração, à formação de lesões de cáries secundárias e à sensibilidade pós-operatória (Yu et al. 2014, Burke et al. 2017, Perdigão et al. 2021, Van Meerbeeck et al. 2020).

Além disso, a degradação da interface adesiva também pode estar associada a uma infiltração monomérica incompleta na matriz de colágeno condicionada, devido ao reduzido espaço disponível entre as moléculas de colágeno que compõem as fibrilas e pela impossibilidade de remoção completa da água presente na matriz dentinária, o que resulta em fibrilas de colágeno expostas totalmente ou parcialmente na parte inferior da camada híbrida (Bertassoni et al. 2012, Agee et al. 2015, Tjaderhane 2015, Maciel et al. 2022). Essa infiltração monomérica incompleta bem como a presença água, a qual favorece a separação de fases devido a diferença de peso molecular e grau de hidrofília dos monômeros que compõem um mesmo adesivo, leva a formação de uma camada híbrida mais vulnerável a degradação hidrolítica tanto do colágeno quanto do adesivo, o que contribui para a redução da resistência de união ao longo do tempo (Hashimoto et al. 2000, Pashley et al. 2004, Reis et al. 2013, Tjäderhane 2015, Frassetto et al. 2016, Van Meerbeeck et al. 2020, Meng et al. 2021, Maciel Pires et al. 2022). Outro fator a considerar, é que essas fibrilas de colágeno desprovido de reforço mineral ou polimérico também são propensas a degradação enzimática mediada por duas famílias de proteases intrínsecas do tecido dentinário, ou seja, as metaloproteinases (MMPs) e catepsinas de cisteína (CCs) (Sabatini & Pashley 2014, Hu et al. 2015, Scaffa et al. 2017). As MMPs e

as CCs degradam as fibrilas de colágeno expostas que ancoram o material restaurador ao substrato dentinário e consequentemente sua degradação implica na perda de estabilidade da camada híbrida e aumento da permeabilidade do substrato dentinário (Breschi et al. 2018, Mazzoni et al. 2018).

Apesar dos avanços alcançados pelos adesivos dentinários, novas estratégias têm sido desenvolvidas visando prevenir a degradação da camada híbrida e a presença de cárie adjacente nas margens das restaurações ao longo do tempo (Leitune et al. 2013). Entre essas estratégias, a aplicação da nanotecnologia nos adesivos dentários tem sido uma das evoluções mais promissoras atualmente por conferir melhores propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas a estes materiais (Sauro et al. 2012, Lin et al. 2013). A nanotecnologia é uma ciência que estuda e possibilita a manipulação da matéria a nível molecular, átomo por átomo, produzindo materiais com uma nova organização estrutural e características peculiares a partir de estruturas de dimensões nanométricas (Guozhong 2004, Jandt et al. 2009).

Portanto, a aplicação da nanotecnologia nos adesivos dentinários ocorre por meio da incorporação de partículas de tamanho nanométrico em suas composições. Essas partículas são definidas como nanopartículas por atingir dimensões entre 1 e 100 nanômetros (nm) (Vollath et al. 2013, Elkassas et al. 2017, Schmalz et al. 2017, Jandt et al. 2020, Naguib et al. 2023) e apresentam como diferencial seu tamanho nanométrico, elevada proporção entre área superficial e volume, alta energia de superfície e grande proporção de átomos na superfície, o que viabiliza uma maior reatividade e facilidade na capacidade de se infiltrar entre as fibrilas de colágeno e pequenos túbulos dentinários (Xu et al. 2011, Li et al. 2013, Melo et al. 2013, Chen 2014, Song et al. 2019). A intensa interação das nanopartículas com a matriz na qual estão inseridas associada com a dispersão homogênea das mesmas potencializam as propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas dos adesivos dentinários em relação aos seus predecessores (Wetzel et al. 2003).

Ademais, as nanopartículas por apresentarem dimensões em escala nanométrica têm uma atuação significativa das forças de van der Waals e covalentes no sentido de tender a ficar unidas entre si ou com outros componentes da matriz e formar aglomerados (Jandt et al. 2009; Hamouda 2012, Bastos et al. 2021). A aglomeração reduz a área superficial e a reatividade das

nanopartículas, além de alterar suas características mecânicas, físico-químicas e mecânicas e comprometer a obtenção de propriedades desejáveis para um bom desempenho clínico dos materiais (Durner et al. 2011; Cheng et al. 2013, Abou et al. 2015, Verma et al. 2018). Desta forma, tem se sugerido a modificação da superfície destas partículas nanométricas através da funcionalização de grupos funcionais na sua superfície visando a obtenção de propriedades específicas melhoradas e redução na tendência de aglomeração (Hong et al. 2009, Kango et al. 2013).

Diversos tipos de nanopartículas vêm sendo incorporadas aos adesivos dentinários visando diferentes finalidades. Estudos têm destacado que entre os agentes mais promissores com propriedades inibitórias de MMPs e antibacterianas estão as nanopartículas metálicas como cobre (Cu) (Altankhishig et al. 2022, Gutiérrez et al. 2017a), óxido de zinco (ZnO) (Saffarpour et al. 2016, Gutiérrez et al. 2019a, Gutiérrez et al. 2019b, Garcia et al. 2021a), prata (Ag) (Shafiei et al. 2018, Yang et al. 2021), iodeto de cobre (CuI) (Sabatini et al. 2015), e as nanopartículas poliméricas como a quitosana (Neves et al. 2021, Moustafa et al. 2024). A literatura também tem relatado sobre a incorporação de nanopartículas cerâmicas com potencial remineralizador nos adesivos dentinários como hidroxiapatita (Hap) (Gonapa et al. 2022), fosfato de cálcio amorfo (ACP) (Wang et al. 2018, Liang et al. 2018, Keskar et al. 2019) e vidro bioativo (VB) (Rizk et al. 2017, Rao et al. 2023). Por outro lado, nanopartículas como óxido de ferro (Fe_3O_4) (Mi et al. 2022, Mokeem et al. 2024), carbono (C) (Binhasan et al., 2022), dióxido de titânio (TiO_2) (Sucală et al. 2018, Stürmer et al. 2021, Hong et al. 2022) e dióxido de estrôncio (SrO_2) (Aljamhan et al. 2022) têm sido propostas pelos estudos com o intuito de melhorar propriedades físico-químicas e mecânicas dos adesivos dentinários.

Dentre as nanopartículas citadas anteriormente, as nanopartículas cerâmicas têm grande interesse clínico pela sua capacidade de prevenir a cárie dentária (Nizami et al. 2022). Nanopartículas à base de cálcio (incluindo à base de hidroxiapatita), à base de vidro bioativo e à base de sílica são alguns dos nanomateriais cerâmicos comumente incorporados aos materiais odontológicos a fim de promover o processo de remineralização e neutralizar os ácidos produzidos pelo biofilme (Seyedmajidi et al. 2018, Nizami et al. 2022). Essas

nanopartículas atuam por meio da deposição de íons remineralizantes, como íons cálcio e fosfato (Mok et al. 2021, Nizami et al. 2022), na zona de dentina desmineralizada resultante tanto da impregnação incompleta do adesivo sobre a matriz de colágeno quanto de lesões cariosas (Hashimoto et al. 2000). A presença de uma zona de dentina desmineralizada desprovida de reforço mineral resulta na formação de uma camada híbrida qualitativamente fraca e consequentemente na redução da resistência de união dos sistemas adesivos ao substrato dentinário (Nakabayashi et al. 1992, Hashimoto et al. 2000). Contudo, estudos têm revelado que a incorporação de nanopartículas cerâmicas com potencial remineralizador em adesivos dentinários aumentou a longevidade das restaurações de resina composta e inibiu o desenvolvimento de cáries secundárias (Weir et al. 2012, Zhang et al. 2016, Nizami et al. 2022).

Tendo em vista os resultados promissores relatados na literatura decorrente da incorporação de nanopartículas nos adesivos dentinários, principalmente no que se refere ao potencial remineralizador, esta tese propôs obter evidência, com base em uma revisão sistemática da literatura, sobre a efetividade clínica de adesivos dentários beneficiados pela incorporação de nanopartículas e avaliar, por meio de um estudo *in vitro*, o efeito da incorporação de nanopartículas cerâmicas em um adesivo experimental na liberação de íons cálcio.

2 JUSTIFICATIVA

O desafio do tratamento restaurador odontológico é garantir uma adesão eficaz e semelhante em dois substratos dentinários diferentes. Os adesivos dentinários se tornaram ferramentas imprescindíveis na prática clínica visto que estes materiais determinam a efetividade e a estabilidade da união entre o substrato dentinário e a resina composta. Fatores como forças de adesão, falta de selamento da interface dente/restauração e biodegradação da interface adesiva são causas potencialmente relevantes para falhas das restaurações. Diante desses diversos fatores inerentes a durabilidade da interface adesivo-dentina, a nanotecnologia tem sido aplicada nos adesivos dentinários com o intuito de promover melhores propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas destes materiais e, consequentemente garantindo superioridade na sua efetividade clínica. Além disso, o efeito remineralizador resultante da incorporação de nanopartículas cerâmicas aos adesivos dentinários é um potencial favorável nos procedimentos adesivos visto que tal propriedade promove a reestruturação da zona de dentina desmineralizada e consequentemente melhora a resistência de união entre o substrato dentinário e a resina. Em vista disso, nanopartículas têm sido incorporadas nas formulações adesivas como um componente promissor para o sucesso clínico de tratamento restaurador. Contudo, a aplicação da nanotecnologia nos adesivos dentinários é ainda recente na Odontologia, sendo necessários mais estudos laboratoriais e ensaios clínicos que avaliem o efeito da incorporação de nanopartículas nas propriedades destes materiais, inclusive a capacidade de remineralização das nanopartículas cerâmicas.

3 PROPOSIÇÃO

OBJETIVO GERAL

Identificar e analisar estudos, in vitro e in vivo, que avaliam as propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas de adesivos dentinários beneficiados com a incorporação de nanopartículas e a sua influência na efetividade clínica do tratamento restaurador odontológico. Além de investigar o efeito da incorporação de nanopartículas cerâmicas em um adesivo experimental na liberação de íons cálcio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

ESTUDO 1 - EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS EM SISTEMAS ADESIVOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

- Determinar se a incorporação de nanopartículas em adesivos dentinários melhora suas propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas.

ESTUDO 2 - EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS EM UM ADESIVO EXPERIMENTAL

- Avaliar a liberação de cálcio de um adesivo experimental contendo nanopartículas cerâmicas.

4 HIPÓTESES

ESTUDO 1 - EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS EM SISTEMAS ADESIVOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

HIPOTÉSE NULA (H0): A incorporação de nanopartículas não afeta negativamente as propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas dos adesivos dentinários.

HIPOTÉSE ALTERNATIVA (H1): A incorporação de nanopartículas cerâmicas afeta negativamente as propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas dos adesivos dentinários.

ESTUDO 2 - LIBERAÇÃO DE CÁLCIO POR UM ADESIVO EXPERIMENTAL CONTENDO NANOPARTÍCULAS CERÂMICAS

HIPOTÉSE NULA (H0): A incorporação de nanopartículas cerâmicas não promove a liberação de cálcio em um adesivo experimental.

HIPOTÉSE ALTERNATIVA (H1): A incorporação de nanopartículas cerâmicas promove a liberação de íons cálcio de um adesivo experimental.

5 ESTUDO 1 - EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS EM SISTEMAS ADESIVOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

5.1 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente revisão sistemática foi conduzida de acordo com as diretrizes do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021) (Anexos 1 e 2).

DEFINIÇÃO DA PERGUNTA/QUESTÃO CLÍNICA: PICOS QUESTION

A consecução e estruturação desta revisão sistemática foi baseada na questão clínica, previamente formulada, por meio da estratégia PICOS (População, Intervenção, Comparação, Desfecho e Estudo) detalhada na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição da estratégia PICOS

ESTRATÉGIA PICOS	COMPONENTES DA QUESTÃO CLÍNICA
POPULAÇÃO (P)	Adesivos dentinários
INTERVENÇÃO (I)	Incorporação de nanopartículas em adesivos dentinários
COMPARAÇÃO (C)	Adesivos dentinários sem a incorporação de nanopartículas
DESFECHO (O)	Propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas
ESTUDO (S)	Ensaio clínico controlado randomizado e estudo <i>in vitro</i>

A partir da estratégia PICOS foi possível definir a questão clínica relevante ao objetivo proposto: A incorporação de nanopartículas nos adesivos dentinários proporciona melhoria nas propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas destes materiais?

Inicialmente, foi realizada uma busca prévia na literatura para verificar a existência de revisão sistemática sobre o assunto em questão. Por meio desta

busca, foi constatado que não há nenhuma revisão sistemática acerca do tema investigado. Logo, demonstrou-se evidente a necessidade de conduzir uma revisão sistemática para responder à questão clínica.

BASE DE DADOS E ESTRATÉGIA DE BUSCA

A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio do acesso às bases de dados eletrônicas PubMed-MEDLINE, Scopus, Clinical Trials.gov e Google Acadêmico durante os meses de Janeiro a Junho de 2024. Para a busca de ensaios clínicos em andamento e não publicados foi pesquisada a base de dados Clinical Trials.gov. Já a base de dados Google Acadêmico foi utilizada com o intuito de explorar a Literatura Cinzenta. A estratégia de busca foi baseada na seleção de descritores controlados obtidos nas bases DeCS (Descritores em Ciências da Saúde) e MeSH (Medical Subject Headings) e nos termos livres mais citados na literatura publicada, de acordo com os elementos da estratégia PICOS. Os operadores booleanos “AND” e “OR” foram usados para a combinação das palavras chaves (descritores controlados e termos livres) de diferentes formas, respeitando as normas de sintaxe de cada base de dados (Apêndice 1). Na estratégia de busca houve restrição da literatura quanto ao ano de publicação e idioma dos artigos, ou seja, foram selecionados artigos publicados entre os anos de 2015 a 2024 e em inglês.

SELEÇÃO DOS ESTUDOS E COLETA DE DADOS

Os artigos obtidos após a busca na base de dados foram exportados para o software gerenciador de referência EndNote Web (Clarivate TM Analytics, Philadelphia, USA) e criou-se um arquivo para cada base de dados. O arquivo no EndNote armazenou os seguintes dados sobre cada estudo: nome, autor, título, revista onde foi publicado, número, volume, páginas, seção, resumo e palavras chaves. Em seguida, os estudos exportados de todas as bases de dados foram unificados em um único arquivo com o propósito de facilitar o processo de análise e síntese. Os artigos identificados como duplicatas foram removidos inicialmente por uma ferramenta específica do EndNote. Na segunda

etapa, os artigos foram organizados em ordem alfabética por título e as duplicatas foram novamente identificadas e removidas manualmente, já que a ferramenta do EndNote pode manter alguma devido a diferenças no processo de indexação usado nas diferentes bases de dados. Em seguida, os artigos foram selecionados por título e resumo de acordo com os critérios de elegibilidade predefinido. Quando o título e o resumo apresentavam informações insuficientes para tomar uma decisão clara, o artigo em texto completo foi obtido para a leitura na íntegra. Posteriormente, os artigos selecionados foram lidos integralmente a fim de identificar os estudos elegíveis para a revisão sistemática. Esta seleção dos estudos foi realizada por dois revisores de forma independente. Em caso de divergências na decisão final sobre um determinado artigo, estas foram discutidas entre os revisores a fim de obter consenso. Cada artigo elegível foi identificado por um número, combinando o sobrenome do primeiro autor e o ano de publicação. Quando o estudo não estava disponível, os autores correspondentes foram contatados por e-mail e em situações em que não foi possível ter acesso ao texto completo, foi excluído por insuficiência de informação.

Informações relevantes sobre os artigos elegíveis foram extraídas usando uma planilha do Microsoft Excel criada e alimentada de forma independente por dois revisores. A extração de dados incluiu: identificação do estudo (autor e ano), objetivo do estudo, características da amostra (adesivo dentinário avaliado, nanopartícula(s) incorporada(s) e propriedades avaliadas), follow-up (acompanhamento – para os ensaios clínicos) e desfecho (resultados e conclusão).

CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Os artigos obtidos durante a busca eletrônica tiveram sua elegibilidade checada em duas fases de seleção de acordo com os critérios de elegibilidade previamente estabelecidos. A primeira fase de seleção dos artigos se deu pela remoção de duplicados e leitura de títulos e/ou resumos. Já na segunda fase, os artigos potencialmente elegíveis foram lidos na íntegra para confirmar se todos os critérios de elegibilidade foram respeitados. Estas duas etapas foram

realizadas independentemente por dois revisores, cujas discrepâncias foram resolvidas de forma consensual. Foram determinados os seguintes critérios de elegibilidade:

Critérios de inclusão: ensaios clínicos controlados randomizados e estudos *in vitro* destinados a avaliar as propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas dos adesivos dentinários beneficiados com a incorporação de nanopartículas em sua composição.

Critérios de exclusão: duplicidade de estudos a partir da busca em bancos de dados; artigos que não permitiram o acesso ao texto completo; apresentação insuficiente de resultados; estudos como de corte transversal, caso-controle, coortes, revisões de literatura, revisões sistemáticas, relatos de caso clínico, séries de casos, artigos de opinião, capítulos de livro, editoriais, resumos de congressos científicos e monografias e artigos que não se relacionavam diretamente ao tema.

5.2 RESULTADOS

SELEÇÃO DOS ESTUDOS

A pesquisa sistemática foi realizada utilizando 4 bases de dados, incluindo a literatura cinzenta e, a partir dessa busca, foram encontrados 733 artigos, dos quais 280 eram duplicatas. Após a remoção dos arquivos duplicados, foram lidos de forma minuciosa os títulos de 473 artigos e obteve-se um total de 238 estudos para leitura dos resumos. A partir da leitura dos resumos, foram selecionados 135 artigos de acordo com os critérios de elegibilidade para leitura do texto completo. Dos 135 artigos restantes para a leitura na íntegra, 25 foram removidos por critérios de exclusão. Por fim, 110 artigos foram avaliados e incluídos nesse estudo, de acordo com os parâmetros adotados pela estratégia PICO (Figura 1). Os trabalhos excluídos foram registrados, bem como as razões para tal (Tabela 2).

CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS

Entre os estudos incluídos nesta revisão, 106 são estudos *in vitro* e 4 são ensaios clínicos controlados randomizados. Os estudos *in vitro* avaliaram os

efeitos da incorporação de diversos tipos de nanopartículas nas propriedades biológicas, físico-químicas, mecânicas e dos adesivos dentinários. As propriedades avaliadas na maioria dos estudos foram: módulo de elasticidade, dureza, liberação de íons, potencial remineralizador, sorção de água, solubilidade, grau de conversão, resistência máxima à tração, resistência de união, resistência flexural, atividade antibacteriana e atividade inibitória de MMPs.

Quanto aos ensaios clínicos controlados randomizados, 2 estudos avaliaram a sensibilidade pós-operatória em pacientes após procedimento restaurador com adesivo dentinário contendo nanopartículas de titânio (Amir et al. 2024) e nanopartículas de Biovidro (Aboelenein et al. 2019) e 2 estudos analisaram o desempenho clínico de um adesivo dentinário contendo nanopartículas de cobre aplicado em restaurações de resina composta (RC) (Matos et al. 2019; Matos et al. 2023). A quantificação da sensibilidade pós-operatória, em ambos os estudos (Amir et al. 2024, Aboelenein et al. 2019), foi realizada por meio da utilização de uma Escala Visual Analógica (EVA). Já avaliação do desempenho clínico foi baseada em dois critérios: World Federation criteria (FDI) e United States Public Health Service (USPHS) para ambos os estudos incluídos (Matos et al. 2019, Matos et al. 2023). De acordo com tais critérios, o desfecho clínico primário foi a retenção / fratura da restauração e os desfechos secundários foram: coloração marginal, adaptação marginal, sensibilidade pós-operatória, instabilidade de cor e recorrência de cárie. Além disso, estes 2 estudos de desempenho clínico também analisaram se as estratégias de aplicações condiciona-e-lave (ER) e autocondicionante (SE) influenciam a performance clínica dos adesivos dentinários contendo nanopartículas.

Em relação aos tipos de adesivos dentinários utilizados nos ensaios clínicos incluídos, 2 estudos utilizaram adesivos universais (Matos et al. 2019, Matos et al. 2023), 1 estudo utilizou adesivo autocondicionante de um passo (Aboelenein et al. 2019) e 1 estudo utilizou adesivo condiciona-e-lava de dois passos (Amir et al. 2024).

Dos 2 estudos que avaliaram a sensibilidade pós-operatória, um estudo avaliou a sensibilidade em restaurações de RC de classe II (Aboelenein et al.

2019) enquanto o outro avaliou restaurações de RC de classes I e II (Amir et al. 2024). Já as avaliações dos 2 estudos, que analisaram o desempenho clínico dos adesivos dentinários, foram em restaurações de RC de lesões cervicais não cariosas (LCNCs).

Quanto ao tempo de acompanhamento e avaliação após o procedimento restaurador, 2 estudos acompanharam e avaliaram por 3 meses (Aboelenein et al. 2019, Amir et al. 2024), 1 estudo por 18 meses (Matos et al. 2019) e 1 estudo por 48 meses (Matos et al. 2023).

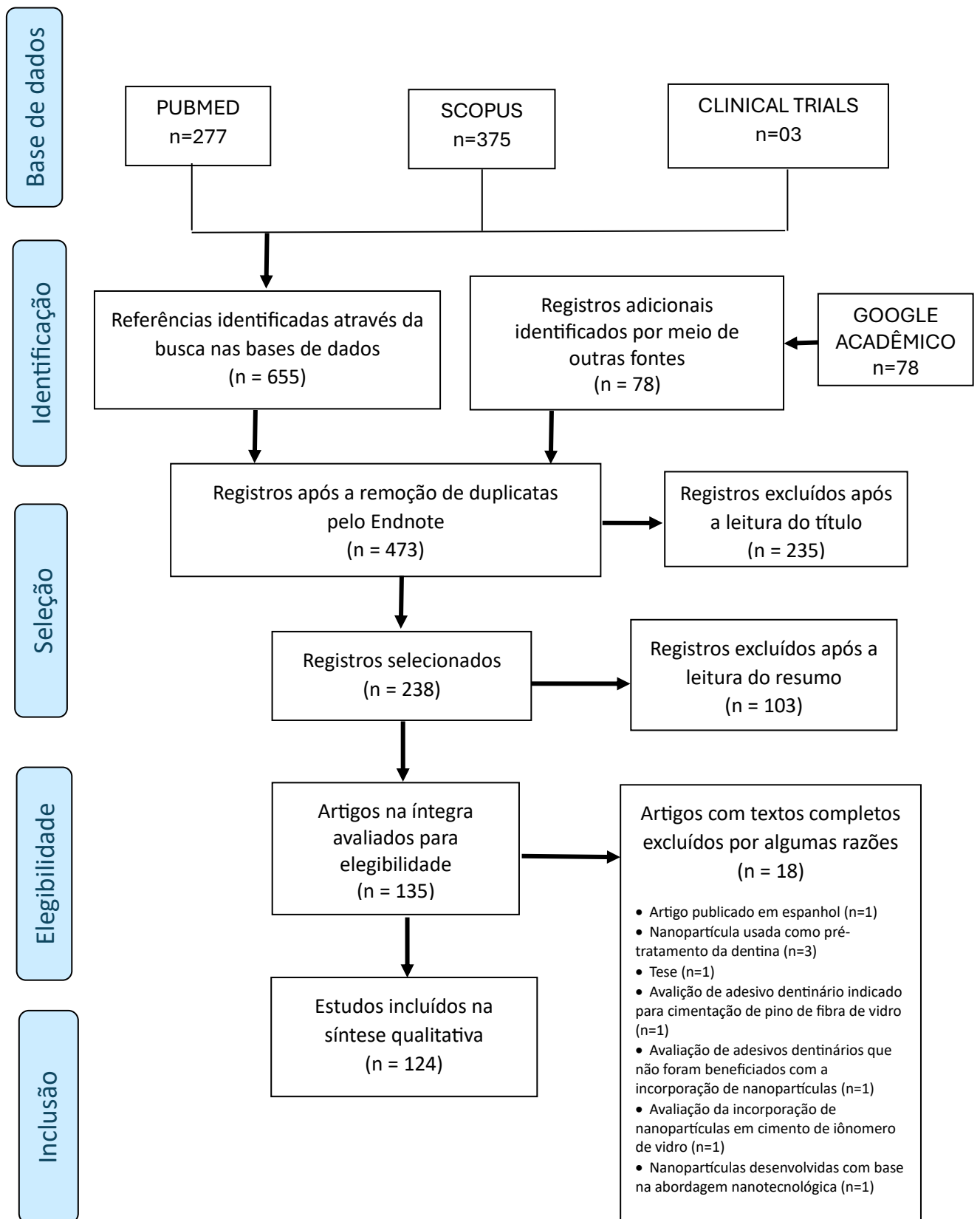


FIGURA 1: Fluxograma representativo da seleção dos estudos (Moher et al. 2011). Adaptado PRISMA

TABELA 2: Razões para exclusão dos artigos após leitura na íntegra.

AUTOR (ANO)	TÍTULO	RAZÃO PARA EXCLUSÃO
Agha et al. (2023)	Novel incorporation of charged hydroxyapatite nanoparticles into resin adhesive	Avalia somente a presença e dispersão homogênea de nanopartículas no adesivo dentinário (avaliação qualitativa)
Alsunbul et al. (2023)	Influence of carbon and graphene oxide nanoparticle on the adhesive Properties of dentin bonding polymer: A SEM, EDX, FTIR study	Avaliação de adesivo dentinário indicado para cimentação de pino de fibra de vidro
Castro et al. (2020)	Antimicrobial effect against streptococcus mutans of an adhesive system with copper and zinc oxide nanoparticles	Artigo publicado em espanhol
Chen et al. (2020)	Synergistic effects of graphene quantum dots and carbodiimide in promoting resin–dentin bond durability	Nanopartícula usada como pré-tratamento da dentina
Elfagih, Sundes (2021)	Dentin bond strength of a dental adhesive system containing proanthocyanidin-loaded mesoporous silica nanoparticles	Tese
Fernandez, E. (2018)	Effect of the Incorporation of Copper and Zinc Nanoparticles Into Dental Adhesives on Their Antimicrobial Properties and Dentinal Matrix Metalloproteinases Activity: From Molecular Basis to Clinical Trials	Indisponibilidade dos resultados do estudo pois os autor não registrou o restante das informações na base de dados Clinical.Trials .
Fadhil et al. (2020)	Hybrid Layer Thickness and Resin Tags Penetration of two Universal Adhesives Incorporated with Ascorbic Acid Coated Superparamagnetic Nanoparticles Subjected to External Magnetic Field	Avalia a espessura da camada híbrida e profundidade de penetração dos tags resinosos
Florez et al. (2020)	Advanced characterization of surface-modified nanoparticles and nanofilled antibacterial dental adhesive resins	Avalia a interação da nanopartícula com a matriz polimérica do adesivo dentinário (avaliação qualitativa)
Genari et al. (2017)	Antimicrobial effect and physicochemical properties of an adhesive system containing nanocapsules	Nanopartículas desenvolvidas com base na abordagem nanotecnológica
Gul et a. (2022)	Biological and Physicochemical Characterization of Self-Adhesive Protective Coating Dental Restorative Material after Incorporation of Antibacterial Nanoparticles	Avalia a incorporação de nanopartículas em cimento de iônomo de vidro
Lezaja et al. (2016)	Shear Bond Strengths and Morphological Evaluation of Filled and Unfilled Adhesive Interfaces to Enamel and Dentine	Avalia adesivos dentinários que não foram beneficiados com a incorporação de nanopartículas
Lesseux et al. (2021)	Synthesis, characterization, and incorporation of upconverting nanoparticles into a dental adhesive	Avalia a caracterização e funcionalização da nanopartícula

Oancea et al. (2019)	Imagistic analysis of dental adhesives loaded with nanoparticles used on teeth sealing of pits and fissures with resin based materials	Analisa a espessura da camada híbrida
Priyadarshini et al. (2017)	PLGA nanoparticles as chlorhexidine-delivery carrier to resin-dentin adhesive interface	Nanopartícula usada como pré-tratamento da dentina
Zaharia et al. (2019a)	Influences of Polymeric Magnetic Encapsulated Nanoparticles on the Adhesive Layer for Composite Materials Used for Class I Dental Fillings	Analisa a espessura da camada híbrida
Zaharia et al. (2019b)	MicroCT Analysis of Dental Adhesives Loaded with Nanoparticles	Analisa a espessura da camada híbrida
Zaharia et al. (2020)	Dental Adhesive Interfaces Reinforced with Magnetic Nanoparticles: Evaluation and Modeling with Micro-CT versus Optical Microscopy	Analisa a espessura da camada híbrida
Wang et al. (2023)	Influence of silver nanoparticles on resin-dentin bond strength durability in a self-etch and an etch-and-rinse adhesive system	Nanopartícula usada como pré-tratamento da dentina

EXTRAÇÃO DE DADOS

Os dois revisores extraíram os dados após a leitura completa dos artigos incluídos nesta revisão, categorizando os dados para uma melhor visualização e compreensão dos resultados (Tabelas 3 e 4). Devido ao elevado número de artigos incluídos nesta revisão (n=110), uma meta-análise posterior foi considerada inapropriada.

TABELA 3: Resumo dos ensaios clínicos incluídos na revisão sistemática (n=4)

AUTOR (ANO)	OBJETIVO	SISTEMA ADESIVO	NANOPARTÍCULA	PROPRIEDADES AVALIADAS	FOLLOW-UP	RESULTADOS	CONCLUSÃO
Amir et al. (2024)	Comparar a sensibilidade pós-operatória entre o agente de união reforçado com nanopartículas de titânio e o agente de união sem nanopartículas em restaurações de resinas compostas de dentes posteriores.	Meta P & Bond (Meta Biomed, Korea) + Incorporação de titânio nas seguintes concentrações: 0% (controle) e 20%	Nanopartículas de titânio	Sensibilidade pós-operatória em restaurações de resina composta.	24 horas, 1 semana e 1 mês após o procedimento restaurador	Uma diferença significativa foi observada entre os dois grupos após 24 horas ($p = 0,004$) e uma semana ($p = 0,002$). No entanto, nenhuma diferença perceptível foi observada após um mês ($p = 0,643$)	A sensibilidade pós-operatória em pacientes com restaurações de resinas compostas foi reduzida usando agentes de ligação reforçados com nanopartículas de titânio.
Aboelenein et al. (2019)	Avaliar o efeito da incorporação de Nanobioglass a um adesivo autocondicionante na redução da sensibilidade pós-operatória após restaurações de resinas compostas versus um adesivo autocondicionante livre de agente Nanobioglass.	OptiBond All-In-One (One-Step, Self-Etch Adhesive system) + Incorporação de nanopartículas de biovidro nas seguintes concentrações: 0%(controle) e 10%	Nanopartículas de biovidro (Composição: 45% SiO ₂ , 25% CaO, 25% Na ₂ O e 5% P ₂ O ₅)	Sensibilidade pós-operatória em restaurações de resina composta.	24 horas, 1 semana, 1 mês e 3 meses após o procedimento restaurador	O grupo experimental (adesivo autocondicionante contendo biovidro) apresentou sensibilidade pós-operatória significativamente menor em comparação com o grupo controle (adesivo autocondicionante sem biovidro) em períodos de avaliação de 1 dia e 1 semana. Entretanto, em ambos os grupos não foi observado nenhuma diferença significativa nos períodos de 1 mês e 3 meses.	A incorporação de nanopartículas de biovidro em adesivos dentinários melhora a sensibilidade pós-operatória de restaurações de resina composta.
Matos et al. (2019)	Avaliar o efeito da incorporação de nanopartículas de cobre (NpCu) na concentração de 0,1% em peso no desempenho clínico de um sistema adesivo universal aplicado	Ambar Universal (FGM Prod. Odont.Ltda, Joinville, SC, Brasil) + Incorporação de NpCu nas seguintes	Nanopartículas de cobre (NpCu)	AVALIAÇÃO CLÍNICA: Retenção/fratura Coloração marginal Sensibilidade pós-operatória Recorrência de cárie	6, 12 e 18 meses	A incorporação de NpCu não aumentou o desempenho clínico do adesivo universal testado após 18 meses quando aplicado no modo ER ($p > 0,05$). A adição de NpCu em restaurações no modo SE aumentou significativamente a taxa de retenção e diminuiu a infiltração marginal após 18 meses ($p < 0,05$).	O presente estudo demonstrou que a incorporação de nanopartículas de cobre a um sistema adesivo universal em uma concentração de 0,1% em peso é uma abordagem viável para manter ou mesmo melhorar o

	no modo condicione-e-lave (ER) e autocondicionante (SE).	concentrações: 0% e 0,1%					desempenho clínico de restaurações cervicais. No entanto, apenas uma sutil melhora foi potencialmente relacionada à adição de NpCu, principalmente quando o adesivo universal foi aplicado no modo autocondicionante.
Matos et al. (2023)	Avaliar o efeito de nanopartículas de cobre (NpCu) no desempenho clínico de um sistema adesivo universal aplicado no modo condicione-e-lave (ER) e autocondicionante (SE).	Ambar Universal (FGM Prod. Odont.Ltda, Joinville, SC, Brasil) + Incorporação de NpCu nas seguintes concentrações: 0% (controle - ct) e 0,1% (em peso) *Estratégia adesiva: ER ou SE	Nanopartículas de cobre (NpCu)	AVALIAÇÃO CLÍNICA Retenção/fratura Coloração marginal Sensibilidade pós-operatória Recorrência de cárie	6, 12, 18, 36 e 48 meses	Após 48 meses, 14 restaurações de 216 restaurações foram perdidas (duas para ERcu, cinco para SEcu e sete para SEct) e as taxas de retenção (intervalo de confiança [IC] de 95%) foram de 74,1% para ERcu (IC de 95% 61,1–83,8); 81,5% para ERct (IC de 95% 69,2–89,6); 64,8% (IC de 95% 51,5–76,2) para SEcu; e 64,8% (IC de 95% 51,5–76,2) para SEct, com diferenças estatísticas entre SEct vs. ERct e SEcu vs. ERct ($p < 0,05$). Nenhuma diferença significativa entre os grupos foi observada quando os parâmetros secundários (coloração marginal, adaptação marginal, sensibilidade pós-operatória, instabilidade de cor e recorrência de cárie) foram avaliados ($p > 0,05$). Dezenove restaurações (duas para ERcu, duas para ERct, seis para SEcu e nove para SEct) apresentaram manchas marginais menores, e 44 restaurações (7 para ERcu, 8 para ERct, 14 para SEcu e 15 para SEct) apresentaram defeitos mínimos de adaptação marginal.	Restaurações em lesões cervicais não cariosas (NCCLs) com um adesivo universal contendo cobre mostraram desempenho clínico similar ao de um adesivo universal comercial após 48 meses de avaliação clínica. A estratégia ER mostrou melhor desempenho clínico do que o modo SE.

TABELA 4: Resumo dos estudos *in vitro* incluídos na revisão sistemática (n=103)

AUTOR (ANO)	OBJETIVO	SISTEMA ADESIVO	NANOPARTÍCULAS	PROPRIEDADES AVALIADAS	RESULTADOS	CONCLUSÃO
Akram et al. (2022)	Sintetizar e caracterizar nano óxido de grafeno reduzido (OGR) e nanoplaquetas de grafeno (NPG) dopadas com nanopartículas de prata (nAg) e preparar um adesivo dentinário experimental modificado com nanopartículas OGR/nAg e NPG/nAg para avaliar propriedades biológicas e mecânicas após a união à dentina.	Adesivo experimental (BisGMA, HEMA, etanol, canforoquinona, etil-4-(dimetilamino) benzoato e DPIHP) + Incorporação de OGR/nAg ou NPG/nAg nas seguintes concentrações :0% (controle negativo), 0,25% e 0,5%, em peso *Scotchbond™ Universal adhesive (3 M ESPE, St. Paul, MN, USA) (controle positivo)	Nano óxido de grafeno reduzido (OGR) e nanoplaquetas de grafeno (NPG) dopadas com nanopartículas de prata (nAg)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Nanodureza (ND) (24 horas e 4 meses) Módulo de elasticidade (E) (24 horas e 4 meses) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans) PROPRIEDADES MECÂNICAS (24h e 12 meses): Nanoinfiltração mecânica Resistência de união à microtração (RUM) Resistência à flexão em quatro pontos (RF)	O GC do Scotchbond™ e do adesivo de controle negativo foi > 45%. Ambos os agentes de união modificados com 0,25% e 0,5% NPG/nAg apresentaram valores de GC comparáveis ao grupo de controle (intervalo: 42–46%). No entanto, uma redução estatisticamente significativa no GC foi observada quando 0,25% e 0,5% OGR/nAg foram incorporados no adesivo (< 40%) (p < 0,05). O ensaio MTT para ambos os períodos de tempo (24 h ou 30 dias) mostrou uma diminuição significativa na viabilidade relativa de S. mutans para todos os agentes de união modificados com grafeno em comparação com os grupos controle (p < 0,001). Após 24 h, os grupos adesivos modificados contendo 0,5% de NPG-Ag mostraram a menor viabilidade de S. mutans em comparação com os demais grupos (P < 0,05). No dia 30, a viabilidade bacteriana dos grupos 0,25% e 0,5% de NPG-Ag permaneceu muito baixa, abaixo de 25%, respectivamente. O maior número de colônias vermelhas representando a maior contagem de mortos foi para os grupos GNP-Ag de 0,25% e 0,5%. Um aumento significativo na nanoinfiltração após 12 meses de armazenamento foi observado para o Scotchbond e o adesivo controle negativo, seguido pelos grupos OGR/nAg. A menor nanoinfiltração foi registrada para os espécimes tratados com 0,25% de GNP-Ag (11%). Uma diminuição significativa na RUM após 12 meses de armazenamento foi observada para o adesivo Scotchbond™, juntamente com os adesivos contendo 0,25% e 0,5% de RGO/nAg. O maior RF foi registrado para Scotchbond™, que diferiu significativamente dos demais grupos. Após 12 meses de envelhecimento, os valores de	Dentro da limitação do presente estudo, a incorporação de 0,25% de NPG/nAg mostrou propriedades antibacteriana otimizadas sem afetar as características de adesão padrão.

					RF foram significativamente menores do que aqueles na baseline para todos os grupos. O grupo 0,25% NPG/nAg apresentou o maior RF após o envelhecimento em comparação com os demais grupos. Foi observada uma redução estatisticamente significativa na ND na camada híbrida para o grupo 0,25%OGR-Ag e na camada adesiva para os grupos controle negativo e 0,25%OGR-Ag após 4 meses de armazenamento. Na camada híbrida, uma E média significativamente aumentada foi observada para todos os grupos experimentais, exceto para os grupos controle (positivo e negativo). Não houve alterações na E na dentina subjacente ou na camada adesiva em nenhum grupo após 4 meses de armazenamento.	
Al-Badr et al. (2023)	Verificar o potencial em aumentar a eficácia antibacteriana contra Streptococcus sobrinus e Lactobacillus fermentum pela inclusão de uma dispersão coloidal de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO ₂) em dois sistemas adesivos universais.	Ambar universal (FGM, Brazil) e G-Premio Bond universal (Gc, America) + Incorporação de TiO ₂ nas seguintes concentrações : 0% e 4%, em massa.	Nanopartícula de dióxido de titânio (TiO ₂)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus sobrinus e Lactobacillus fermentum)	Os adesivos contendo 4% de nanopartículas de TiO ₂ apresentaram valores médios significativamente maiores para zonas de inibição em comparação ao grupo controle (sem nanopartículas). Além disso, o G-Premio Bond universal contendo 4% de nanopartículas de TiO ₂ demonstrou valores médios de inibição significativamente maiores em relação aos grupos Ambar universal.	A adição de nanopartículas de TiO ₂ em uma concentração de 4% aos adesivos dentinários resultou em um aumento significativo de suas propriedades antibacterianas quando comparados adesivos dentinários sem a incorporação de nanopartículas.
Al-Qahtani et al. (2022)	Avaliar o efeito da incorporação de duas concentrações (5% e 10%) de nanopartículas de fosfato tricálcico (β-TCP Ca ₃ (PO ₄) ₂) em um adesivo	Prime & Bond (Dentsply, Caulk, Tulsa, OK, USA) + Incorporação de TCP Ca ₃ (PO ₄) ₂ nas seguintes concentrações	Nanopartículas de fosfato tricálcico (β-TCP Ca ₃ (PO ₄) ₂)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC) Análise qualitativa da interface dentina-adesivo	O adesivo β-TCP de 10% em peso apresentou os maiores valores de RUC. Os adesivos β-TCP demonstraram uma interação adequada com a dentina, formando uma camada híbrida (com poucos ou nenhuns gaps) e tags resinosos. Os adesivos β-TCP (10% em peso) revelaram valores de GC mais baixos em comparação ao controle.	A incorporação de partículas de β-TCP nas concentrações de 5 e 10% em peso resultou em um aumento nos valores de RUC. Um declínio linear nos valores de GC foi observado a medida que se aumenta a concentração das nanopartículas.

	dentinário na interface adesiva	: 0%, 5% e 10%, em peso		PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC)		
Al-Qarni (2022)	Desenvolver um adesivo antibacteriano e recarregável de cálcio (Ca) e fosfato (P) e investigar os efeitos do metacrilato de dimetilaminododecyl (DMAHDM) e nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) na união à dentina, resposta ao biofilme e capacidade de recarga e liberação de íons Ca e P pela primeira vez.	*Scotchbond multi-Purpose Bonding system (SBMP, 3 M, St. Paul, MN) – grupo controle *Primer experimental (GDM + HEMA + acetona) *Adesivo experimental - PEHB (PMGDM + EBPADMA + HEMA + BisGMA + Óxido de fenilbis (2,4,6-trimetilbenzoi) fosfina) GRUPOS: PEHB + 30% NACP (adesivo recarregável) PEHB + 30% NACP + 5% DMAHDM (adesivo antibacteriano recarregável)	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento – 24h (RUC) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Liberação, recarga e reliberação de íons Ca e P PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana	Nos valores de RUC foi observado que todos os adesivos testados apresentaram resistências de união semelhantes ($p > 0,1$). O adesivo experimental com DMAHDM demonstrou uma diminuição significativa na atividade metabólica, produção de ácido láctico e UFC ($p < 0,05$). Os adesivos contendo NACP liberaram altos níveis de íons Ca e P inicialmente e após serem recarregados	A incorporação de NACP e DMAHDM a um adesivo dentinário experimental proporcionou uma potente atividade antibacteriana e capacidade de recarga e liberação de íons Ca e P. Além disso, a Incorporação de NACP e DMAHDM ao adesivo experimental não afetou a resistência de união à dentina, em comparação a um adesivo dentinário comercial.
Al-Qarni (2018)	Desenvolver um adesivo capaz de repelir proteínas e recarregável de	Scotchbond multi-Purpose Bonding system	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao	O adesivo com MPC apresentou resistência de união à dentina semelhante ao controle SBMP ($p > 0,1$). A incorporação de NACP nas concentrações 0–30% não teve efeito	O novo adesivo recarregável com MPC + 30%NACP reduziu drasticamente a adsorção de proteína, o crescimento de biofilme

	íons de cálcio (Ca) e fosfato (P) contendo nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) e 2-metacrilóiloxietilfosforilcolina (MPC), e investigar os efeitos do MPC na recarga e liberação de íons pela primeira vez.	(SBMP, 3 M, St. Paul, MN) *Primer experimental (PMGDM + HEMA + acetona) *Adesivo experimental - PEHB (PMGDM + EBPADMA + HEMA + BisGMA + fotoiniciador Óxido de fenilbis (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfina *GRUPOS: [1] SBMP (controle) [2] PEHB (controle) [3] PEHB + 20% NACP [4] PEHB + 30% NACP [5] PEHB + 20% NACP + 3% MPC [6] PEHB + 30% NACP + 3% MPC		cisalhamento – 24h (RUC) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Liberação, recarga e liberação de íons Ca e P. Adsorção de proteínas PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans)	significativo na resistência de união à dentina ($p > 0,1$). Com o aumento do número de ciclos de recarga/liberação, a liberação de íons Ca/P atingiu níveis similarmente mais altos ($p > 0,1$), indicando capacidade de remineralização a longo prazo. A incorporação de MPC ao adesivo reduziu significativamente a atividade metabólica dos biofilmes ($p < 0,05$). O adesivo contendo MPC apresentou uma quantidade de ácido láctico que era quase 52% e 45% das quantidades dos adesivos controle (SBMP) e PEHB + 30NACP, respectivamente ($p < 0,05$). A incorporação de 3% de MPC resultou em uma redução de 10 vezes na adsorção de proteínas e uma redução de 1–2 logs no UFC.	e a produção de ácido láctico. A incorporação de MPC não comprometeu o potencial de liberação de íons Ca/P, a recarregabilidade e a resistência de união à dentina.
Alfaawaz (2022)	Desenvolver um adesivo experimental (AE) e avaliar a influência da incorporação de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) nas	Adesivo Experimental – EA: (BisGMA, TEGDMA, HEMA e etil 4-dimetilamino benzoato e	Nanopartículas de óxido de zinco (ZnO)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24h Análise da interface dentina-adesivo	A incorporação de ZnO nas concentrações de 5 e 10% a composição do AE reduziu sua viscosidade. O maior valor de RUM foi observado para o grupo AE não termociclado (NTC) 5% em peso de ZnO ($32,11 \pm 3,60$ MPa), seguido pelo grupo NTC-10% em peso de ZnO ($30,04 \pm 3,24$ MPa).	A incorporação de nanopartículas de ZnO nas concentrações de 5 e 10% em peso no AE resultou em uma melhora significativa na RUM. No entanto, foi observado uma viscosidade reduzida para ambos os adesivos beneficiados com nanopartículas,

	concentrações de 5-10% nas propriedades mecânicas do adesivo.	canforaquinon a) + Incorporação de ZnO nas seguintes concentrações : 0%, 5% e 10%, em peso		PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Viscosidade Grau de conversão (GC)	O grupo AE+ 5% ZnO demonstrou uma interação dentinária adequada ao se observar a formação de tags resinosos, porém no grupo AE+ 5% ZnO foi observado uma formação comprometida de tags resinosos. O GC foi significativamente maior no grupo contendo 0% de ZnO (AE).	Dessa maneira, são necessários mais estudos para avaliar a influência da incorporação de nanopartículas em maiores concentrações nas propriedades adesivas
Aljamhan et al. (2022)	Desenvolver um adesivo com nanopartículas de dióxido de estrôncio (ZrO ₂) e sua interação com a dentina condicionada com terapia fotodinâmica (PDT); método condiciona-e-lava (ER) e laser Er, Cr: YSGG (ECL).	Adesivo experimental (AE) TEGDMA, BISGMA, HEMA, álcool etílico, etil 4-dimetilamino benzoato, hexafluorofosfato de difeniliodônio e canforaquinon a. + Incorporação de ZrO₂ na concentração de 10%, em peso *Nanopartículas foram silanizadas com metiltrimetoxisilano	Nanopartículas de dióxido de estrôncio (ZrO ₂)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC) – 24h PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Viscosidade (V)	O maior valor de RUC foi observado na dentina condicionada com método condiciona-e-lava no AE contendo ZrO₂ (19,05 ± 0,13 MPa). Enquanto isso, o menor valor de RUC foi observado na superfície da dentina condicionada com PDT e EA (12,25 ± 0,14 MPa). A análise reológica revelou que com o aumento das frequências, ocorreu a redução das viscosidades dos adesivos.	A incorporação de partículas de ZrO ₂ na concentração de 10% em peso no AE promoveu uma melhora significativa nos valores RUC em comparação com AE. Para o AE sem ZrO ₂ e com ZrO ₂ , recomenda-se a superfície da dentina condicionada com o método condiciona-e-lava. Os métodos de condicionamento da dentina com PDT e ECL, juntamente com o peso das nanopartículas de ZrO ₂ no adesivo, podem influenciar os valores de RUC.
Alkatheeri et al. (2015)	Avaliar o efeito da incorporação de nanotubos de argila aluminossilicato Halloysite® (HNT) em um adesivo condiciona-e-lava (ER) de dois passos e um	ONE-STEP® (Bisco) – (Adesivo ER de dois passos) Xeno IV (Dentsply Caulk)	Nanotubos de argila aluminossilicato Halloysite® (HNT)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC)	A incorporação de HNT até 20% (p/v) em ER e até 10% (p/v) em SE demonstrou um aumento no valor de RUC em comparação com seus controles experimentais (ER e SE com agitação e sonicação e sem HNT). Em comparação ao grupo controle comercial, o valor do RUC dos adesivos modificados por HNT não foi significativamente diferente para o adesivo ER (p>0,05), mas foi significativamente maior no adesivo SE com 5% de HNT (p<0,05).	Dentro das limitações deste estudo, a incorporação de HNT até 20% (p/v) em adesivo ER de dois passos e até 10% (p/v) em adesivo SE de um passo mostrou um aumento dos valores de RUC na dentina (em comparação com o controle experimental).

	adesivo autocondicionante (SE) de um passo na resistência de união ao cisalhamento da dentina humana (RUC).	(Adesivo SE um passo) + Incorporação de HNT nas concentrações de 5%, 10% e 20%, em peso *Controle comercial: Adesivos ER e SE sem agitação e sonificação e sem HNT incorporado *Controle experimental: Adesivos ER e SE com agitação e sonificação e sem HNT incorporado				
Alkhazaleh, et al. (2022)	Desenvolver nanopartículas de sílica mesoporosas (MSNs) que podem ser incorporadas aos sistemas adesivos para a entrega sustentada de extratos ricos em proantocianidina (PACs) a dentina em interfaces adesivas	Adesivo experimental (RBA): Bis-GMA, HEMA, canforoquinon a e EDMAB Primer experimental (RBP) + Incorporação de 20% MSN, MSN-APTES-PAC e MSN-PAC-APTES, em peso. *MSN-APTES-PAC – PAC é	Nanopartículas de sílica mesoporosas (MSNs) funcionalizadas com o organosilano (3-aminopropiltietoxilisilano - APTES) e carreadora de proantocianidina (PACs)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) imediata (24 horas) e a longo prazo (1 ano) Análise da interface dentina-resina PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC)	A incorporação de MSN-APTES-PAC não afetou negativamente o GC ou as propriedades mecânicas gerais do RBA. A incorporação de MSN-PAC-APTES resultou em propriedades mecânicas inferiores do RBA experimental Em relação a RUM imediata, o RBP contendo MSN-PAC-APTES <i>apresentou</i> a maior <i>RUM</i> a um nível <i>significativo</i> em comparação com os outros três RBPs (todos os pares $p < 0,042$). Após o armazenamento a longo prazo, MSN-APTES-PAC apresentou os maiores valores de RUM, e não houve diferença significativa em comparação com MSN-PAC-APTES ($p = 0,308$). .	A incorporação de MSN aos primers e adesivos experimentais é capaz de promover e manter um adequado desempenho adesivo. Entretanto, algumas propriedades mecânicas de RBAs contendo MSN carregado com PAC foram comprometidas. Já as formulações de primer contendo essas nanopartículas apresentaram maior resistência de união no teste imediato e de longo prazo do que a formulação controle. No entanto, a funcionalização do MSN desempenha um papel fundamental na melhoria da adesão, uma vez que carregar o MSN com PAC após a funcionalização das nanopartículas resultou em um

		carreada depois da funcionalização				melhor desempenho de união a longo prazo.
		*MSN-PAC-APTES - PAC é carreada antes da funcionalização				
Alkudhairi et al. (2024)	Incorporar diferentes concentrações de nanopartículas (NPs) de zircônia/fosfato de prata (ZrO_2/Ag_3PO_4) em um adesivo autocondicionante (SE).	Adesivo autocondicionante (SE) – não foi especificado a marca comercial na metodologia + Incorporação de ZrO_2/Ag_3PO_4 nas seguintes concentrações : 0%, 0,15%, 0,25% e 0,5%	Nanopartículas de zircônia/fosfato de prata (ZrO_2/Ag_3PO_4)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (<i>Streptococcus mutans</i>), PROPRIEDADES MECÂNICAS Resistência de união à microtração (RUM) – 24h PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) do compósito unido à dentina afetada por cárie (CAD)	As amostras do grupo SE + 0,5% ZrO_2/Ag_3PO_4 apresentaram a menor taxa de sobrevivência ($0,12 \pm 0,01$ UFC/mL) de <i>S. mutans</i>. Os maiores valores de RUM também foram observados no grupo SE + 0,5% ZrO_2/Ag_3PO_4 ($20,12 \pm 0,79$ MPa). O maior GC foi observado no grupo controle (SE sem incorporação de nanopartículas) ($69,85 \pm 8,37$)	O SE, quando incorporado nanopartículas de ZrO_2/Ag_3PO_4 , influencia positivamente a RUM e apresenta uma melhor eficácia antibacteriana contra o <i>S. mutans</i> . Notavelmente, o estudo observou que o aumento da concentração de ZrO_2/Ag_3PO_4 não afetou adversamente a RUM. No entanto, foi verificado que o aumento da concentração de ZrO_2/Ag_3PO_4 promove uma redução do GC do adesivo SE.
Almutairi et al. (2021)	Desenvolver e analisar um adesivo dentinário incorporado com nanopartículas de óxido de grafeno (OG) e compósito de fosfato de cálcio (CaP).	Adesivo experimental – AE (BisGMA, TEGDMA, HEMA, etanol, etil 4-dimetilamino benzoato, canforquinona e	Nanopartículas de óxido de grafeno (OG)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC) – 24 horas Análise da interface dentina-resina	Os maiores valores de RUC foi observado para o grupo AE + 5% OG-CaP seguido do grupo AE + 2,5% OG-CaP. O valor médio do GC foi maior para o grupo AE + 0% GO-CaP ($52,5 \pm 2,2$) e menor para o grupo AE + 5% GO-CaP ($46,6 \pm 8,2$), o qual foi significativamente diferente dos outros grupos ($p < 0,05$).	Portanto, ao mesmo tempo que uma concentração maior de nanopartículas de OG incorporada aos adesivos dentinários pode melhorar a resistência de união, ela também pode ocasionar redução do GC.

		difeniliodônio hexafluorofosfato) + Incorporação de OG-CaP nas seguintes concentrações :0%, 2,5% e 5%		PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC)	Todos os grupos apresentaram excelente união entre a resina e a dentina.	
Alshahra et al. (2020)	Desenvolver um adesivo experimental contendo nanopartículas de óxido de grafeno (OG), caracterizá-lo e observar sua interação com a dentina	Adesivo experimental – AE (BisGMA, HEMA, etanol, etil 4-dimetilamino benzoato, canforquinona e difeniliodônio hexafluorofosfato) + Incorporação de OG nas seguintes concentrações : 0% e 0,5%, em peso	Nanopartículas de óxido de grafeno (OG)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtensão (RUM) – 24 horas, 8 semanas e 16 semanas	Não houve diferença significativa nos valores da resistência de união entre os grupos AE sem nanopartículas OG (controle) e o AE com nanopartículas OG. O tempo de armazenamento resultou em efeito significativo aa RUM ($p<0,01$). O maior e menor valor da RUM foi observado no grupo AE sem nanopartículas GO (controle) ($30,47\pm3,55$ MPa) em 24 h e no grupo AE sem nanopartículas OG (controle) ($22,88\pm 3,61$ MPa) em 16 semanas, respectivamente.	Dentro da limitação do estudo, OG mostrou interação com o adesivo desenvolvido e com a dentina, similar aos adesivos convencionais, concomitantemente com a formação de camada híbrida. Além disso, em condições ideais (ausência de nanoinfiltração), o adesivo modificado por OG apresenta resistência de união e durabilidade comparáveis à união resina-dentina.
Altankhishig et al. (2022)	Avaliar o efeito da incorporação de um novo nanocompósito de zinco e cobre (ZCF) contendo flúor na resistência de união de um adesivo dentinário	Sistema adesivo autocondicionante CLEARFIL™ SE BOND (Kuraray, Japan) + Incorporação do nanocompósito ZCF nas seguintes concentrações : 0% e 5%, em peso	Nanocompósito formado por nanopartículas de cobre (Cu) e zinco (Zn)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtensão (RUM) – 24 horas PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus mutans) Atividade anti-MMPs (metaloproteinases)	Não houve diferença significativa nos valores de RUM entre os grupos ZCF e controle (sem ZCF). No entanto, o grupo ZCF exibiu um efeito inibitório significativo contra MMP-2, MMP-8 e MMP-9, além de um efeito antibacteriano sobre Streptococcus mutans	De acordo com o presente estudo, pode-se concluir que a incorporação de nanopartículas ZCF a sistemas adesivos pode resultar em inibição de MMPs e ação antibacteriana, enquanto mantém as propriedades mecânicas das restaurações adesivas.

Arslan et al. (2024)	Avaliar as propriedades antibacterianas e a resistência de união à dentina de nanopartículas de prata (NPsAg) e nanocompósitos de óxido de grafeno com nanopartículas de prata (Ag@nOGNCs) produzidos por métodos de síntese química e verde incorporados aos adesivos dentinários.	Sistema adesivo autocondicionante CLEARFIL™ SE BOND (Kuraray, Okayama, Japan) As NPsAg foram produzidos por síntese verde (NPs B-Ag) e métodos de síntese química (NPs C-Ag) e depositado no OG (óxido de nanografeno). Ag NPs e Ag@nGO NCs. Essas nanopartículas foram adicionados ao primer e bond do Clearfil SE na concentração de 0,05%. *GRUPOS Grupo 1: controle, Grupo 2: nGO, Grupo 3: B-Ag NPs, Grupo 4: B-Ag@nGO NCs, Grupo 5: C-Ag NPs,	Nanocompósitos de óxido de grafeno e nanopartículas de prata (Ag@nOG NCs)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24 horas	Houve diferença entre os grupos nos testes de proporção de bactérias viáveis e produção de ácido láctico ($p < 0,05$). Quando a zona de inibição e as UFCs de <i>S. Mutans</i> foram avaliadas, não houve diferença estatística entre o Grupo 3 e o Grupo 4 ($p > 0,05$), mas houve diferença entre os outros grupos ($p < 0,05$). Na análise da atividade metabólica de <i>S. Mutans</i> houve diferença entre o Grupo 1 e os demais grupos, e entre o Grupo 2 e o Grupo 5 e o Grupo 6 ($p < 0,05$). Em relação aos valores de RUM, não houve diferença estatística entre os grupos ($p > 0,05$).	Dentro das limitações deste estudo, pode se concluir que os adesivos contendo NPs B-Ag e B-Ag@OGNCs apresentam uma atividade antibacteriana eficiente e não tiveram seus valores de RUM reduzidos.
----------------------	---	--	---	--	--	--

		Grupo 6: C-Ag@nGO NCs.				
Ashtijoo et al. (2022)	Avaliar o potencial de remineralização e a bioatividade de adesivos contendo nanopartículas (NPs) de fosfato de cálcio amorfo (ACP) e silicato de cálcio (SC).	Adesivo dentinário de frasco único à base de etanol (Tetric® N-Bond, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) + Incorporação de NPs de ACP ou CS nas seguintes concentrações : 0%, 1% e 2,5%, em peso de	Nanopartículas (NPs) de fosfato de cálcio amorfo (ACP) e silicato de cálcio (CS).	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Remineralização Bioatividade PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC) – 24 horas	A análise microscópica demonstrou um aumento nos níveis de cálcio e fósforo na superfície após imersão em fluido corporal simulado (SBF) o que é indicativo de formação de apatia. Além disso, mais apatita foi depositada nos grupos com mais NPs. Em relação aos valores de RUC, não houve diferença estatística entre os grupos ($P=0.414$). A adição de NPs ACP ou SC até 2,5% em peso ao adesivo não exerce efeitos negativos significativos na resistência de união à dentina.	De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que as nanopartículas de SC e ACP estimularam a mineralização na dentina e a incorporação dessas nanopartículas aos adesivos dentinários pode melhorar a biofuncionalização da união dentinária.
Azad et al. (2018)	Avaliar o efeito do tipo e concentração do fotoiniciador, a estrutura química do monômero da matriz e a incorporação de nanopartículas nas propriedades físicas e mecânicas de um adesivo dentinário experimental.	Adesivo experimental: Bis-GMA, HEMA, UDMA, TMPTMA, etanol, fotoiniciador *Fotoiniciadores: sistema canforoquinon a-amina (CQ-A), butanodiona (BD) e fenilpropanodiona (PPD). Monômero da matriz orgânica: BTDMA + Incorporação de nanopartículas	Nanopartículas de sílica silanizadas com 3- (trimetoxissilil) propil metacrilato (MPS)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Contração de polimerização (fotoiniciadores e monômero da matriz) Resistência à flexão (RF) Módulo de elasticidade (E) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC)	A eficiência do sistema iniciador CQ-A é diminuída na presença do monômero BTDMA enquanto a fotopolimerização é eficientemente aumentada com BD como iniciador. A PPD mostra a menor eficiência na fotopolimerização dos adesivos. O BTDMA como um monômero com capacidade de interação com a estrutura dentária fornece ao adesivo uma melhor RUC. A incorporação de 0,2% de nanopartículas de sílica nos adesivos resultou em uma maior RF ($108,7 \pm 4,2$ MPa) em relação as demais concentrações. O maior valor de RUC ($30,4 \pm 5,3$ MPa) foi observado no adesivo contendo 0,2% em peso de nanopartículas ($p < 0,05$), sendo que este valor diminui gradualmente com o aumento do conteúdo de nanopartículas.	De acordo com os resultados obtidos conclui-se que: -Nos adesivos que contêm funcionalidades ácidas, o sistema iniciador comumente usado, canforoquinona-amina, pode perder sua eficácia devido à possível desativação da amina na condição ácida. Butanodiona (BD) é uma alternativa eficaz ao sistema CQ-amina. -BTDMA, um monômero contendo funcionalidade de ácido carboxílico, fornece maior resistência de união à dentina enquanto mantém as propriedades mecânicas e a conversão de polimerização. -A incorporação de nanopartículas de sílica silanizada no adesivo promove uma maior resistência de união e melhores propriedades mecânicas em concentração de carga de 0,2–0,5%, em peso.

		de sílica nas seguintes concentrações : 0%; 0,2%, 0,5%, 1%, 2% e 5%				
Barcellos et al. (2016)	Avaliar a durabilidade da união resina-dentina por 6 meses e o efeito citotóxico de adesivos dentinários de condicionamento e lavagem dopado com zinco (Zn).	Adesivo dentinário experimental condiciona-e-lava (Bis-GMA, HEMA, CQ, DMAEMA) + Incorporação de ZnO ou Metacrilato de zinco (Zn-Mt) nas seguintes concentrações : 1%, 2%, 5% e 10%, em peso	Nanopartículas de óxido de zinco (ZnO)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à tração diametral (RTD) – 24 horas e 6 meses Resistência à flexão (RF) Resistência à compressão (RC) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Módulo de flexão (MF) Módulo de resiliência (MR) Contração de polimerização (CP) Ângulo de contato (AC) Sorção de água (SA₁) Solubilidade em água (SA₂)	Nenhuma diferença significativa em RTD, RF, MF, CP, AC, SA₁ e SA₂ foi observada quando 1% ZnO ou Zn-Mt em peso foi incorporado ao adesivo dentinário. O grupo Zn-Mt diminuiu a MR do adesivo. Os grupos Zn-Mt e ZnO diminuíram o CP dos adesivos. O grupo ZnO preservou a RTD após 6 meses de armazenamento sem áreas de degradação, conforme visualizado por análise microscópica.	A incorporação de 1% de ZnO no adesivo dentinário não afetou a resistência de união resina-dentina de 24h, e tal incorporação parece ser promissora na possibilidade de aumentar a longevidade das restaurações, uma vez que demonstrou melhora na contração de polimerização, na integridade da interface adesiva após 6 meses de armazenamento em água e na redução da citotoxicidade do adesivo.
Bhadila et al. (2021)	Desenvolver um novo adesivo dentinário nanoestruturado com propriedades antibiofilme e remineralizantes usando dimetilaminohexadecil metacrilato (DMAHDM) e nanopartículas de fluoreto de cálcio	Adesivo experimental (BTHM) (BisGMA, TEGDMA, HEMA, MEP e óxido de fosfina) + Incorporação de nCaF ₂ nas concentrações de 0% e 20%	Nanopartículas de fluoreto de cálcio (nCaF ₂)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao microcisalhamento (RUM_C) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus mutans)	Todos os adesivos apresentaram RUM_C semelhantes (p > 0,05). Isso indica que adicionar 20% de nCaF₂ e 5% de DMAHDM não comprometeu tal resistência dos adesivos. Os adesivos controle comercial e controle BTHM foram cobertos em grande parte por bactérias vivas. Biofilmes no adesivo BTHM + nCaF₂ tinham algumas bactérias com membranas celulares comprometidas. No entanto, o grupo DMAHDM tinha em grande parte bactérias com membranas comprometidas. Isso demonstrou que adicionar nCaF₂ resulta em um efeito	Este estudo formulou um novo adesivo dentinário bioativo e nanoestruturado para restaurações odontológicas. A incorporação de DMAHDM e nCaF ₂ no adesivo não comprometeu a resistência da união à dentina, ao mesmo tempo em que proporcionou excelente atividade antibacteriana. O adesivo contendo nCaF ₂ apresentou um moderado efeito antibacteriano ao reduzir a biomassa do biofilme e

	(nCaF ₂) e investigar os efeitos na resistência de união à dentina e biofilmes de Streptococcus mutans.	(em peso) e DMAHDM nas concentrações de 0% e 5% (em peso) *Scotchbond multi-purpose bonding system (SBMP, 3 M, St. Paul, MN, USA) (controle positivo)			antibacteriano moderado, enquanto adicionar 5% de DMAHDM no adesivo BHTM + nCaF₂ resulta em um efeito antibacteriano melhor. Os adesivos com nCaF₂ diminuíram significativamente a biomassa do biofilme. No entanto, com a adição de DMAHDM, a biomassa diminuiu maciçamente ($p < 0,05$) em comparação com os outros grupos (média $\pm$ DP; $n = 6$). A atividade metabólica dos biofilmes de 2 dias nos adesivos, mostrou que a adição de 5% de DMAHDM no adesivo reduziu drasticamente a atividade metabólica do biofilme em mais de 80% em relação ao controle comercial. O DMAHDM diminuiu drasticamente as unidades formadoras de colônias (UFC) em mais de 4 ordens de log quando comparado ao controle comercial ($p < 0,05$). A produção de ácido láctico de biofilmes de <i>S. mutans</i> de dois dias mostrou que a quantidade de ácido láctico produzida foi significativamente maior para biofilmes cultivados nos grupos controle e no grupo BHTM + nCaF₂ do que no grupo contendo DMAHDM ($p < 0,05$). O adesivo BHTM + nCaF₂ + DMAHDM apresentou uma redução de dez vezes na produção de ácido láctico em comparação com os grupos controle ($p < 0,05$). O pH do meio de cultura do biofilme dos grupos controle comercial e controle BHTM estava em 4 devido à produção de ácido bacteriano. Adicionar 20% de nCaF₂ aumentou o pH, em comparação com os adesivos controle. No entanto, o pH meio de cultura do biofilme do grupo BHTM + nCaF₂ + DMAHDM foi drasticamente maior do que os demais grupos ($p < 0,05$).	aumentar o pH do biofilme. Este potencial anticárie foi aumentado pela adição de DMAHDM. O adesivo contendo CaF₂ e DMAHDM reduziu o UFC do biofilme em 4 logs. O adesivo bioativo aumentou o pH do meio de cultura do biofilme de um pH cariogênico 4 para um pH seguro 7 para proteger as estruturas dentárias. O adesivo BHTM + nCaF₂ + DMAHDM demonstrou excelente viabilidade de fibroblastos gengivais, semelhante ao meio de cultura controle (sem eluentes de resina). Portanto, este adesivo bioativo é promissor para combater cáries e aumentar a longevidade das restaurações
Bin-Shuwaish et al. (2020)	Avaliar o efeito do teor de nanocarga de óxido de grafeno (OG) em um adesivo dentinário experimental em seu grau de conversão (GC),	Adesivo experimental (HEMA, TEGDMA, Bis-GMA, dimetilamino benzoato, canforquinona e	Nanopartículas de óxido de grafeno (GO)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24 horas	O conteúdo de nanocarga de GO mostrou influência significativa na RUM do adesivo em comparação aos controles ($p < 0,01$). O envelhecimento (termociclagem - TC) resultou em uma redução significativa na RUM, exceto em espécimes contendo 2% GO, as quais apresentaram resultados comparáveis entre espécimes TC e não TC ($p > 0,05$).	Dentro das condições experimentais, o OG exibiu uma interação entre o adesivo e a dentina comparável ao adesivo controle. O aumento do conteúdo de OG resultou em maiores valores de RUM do adesivo e diminuição no GC. Sob condições ideais, o adesivo experimental com 2% de

	resistência de união à microtração (RUM) e confiabilidade estrutural.	difeniliodônio hexafluorofosfato e DPIHP) + Incorporação de OG nas seguintes concentrações : 0%, 0,5% e 2,0%, em peso		PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC)	O GC foi significativamente maior no adesivo controle [46,8± 3,6] em comparação com os espécimes 2% GO (37,7±4,2], no entanto o DC foi comparável entre os adesivos contendo 0,5% GO(42,3 ±2,9) e 2% GOA [37,7±4,2) (p > 0,05), respectivamente.	conteúdo de OG mostrou resistência de união aceitável e o GC deve ser avaliado posteriormente sob condições dinâmicas para recomendar o uso clínico.
Binhasan et al., 2022	Reforçar um adesivo dentinário (AD) com duas concentrações (2,5% e 5%) de nanopartículas de carbono (CNP) e avaliar o impacto dessas adições nas propriedades reológicas, na resistência de união do adesivo e na interação com a dentina.	Sistema Adesivo Universal Prime & Bond NT (Dentsply, Caulk, Tulsa, OK, USA) + Incorporação de NPsC nas seguintes concentrações : 0%, 2,5% e 5%	Nanopartículas de carbono (NPsC)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Viscosidade (V)	A avaliação reológica demonstrou uma redução gradual da viscosidade para todos os adesivos em frequências angulares mais altas. O maior GC foi observado pelo grupo AD+0% CNPs (68,24 ± 4,88) seguido pelo grupo AD+2,5%CNPs (42,91 ± 5,43), enquanto o grupo AD+5% CNPs demonstrou os menores valores de GC (34,32 ± 4,60). Resultados estatisticamente significativos (p < 0,01) foram detectados quando os valores de GC do grupo CA foram pareados com os outros dois grupos e quando ambos os grupos adesivos CNP foram comparados entre si. Os maiores valores de RUC foram para o grupo AD+2,5% CNP (25,15 ± 3,08 MPa) seguido pelo grupo AD+ 5% CNP (24,25 ± 3,05 MPa).	O reforço do AD no presente estudo com NPsC (2,5% e 5%) resultou em um aumento nos valores de RUC. O adesivo contendo 2,5% NPsC apresentou os maiores valores de RUC seguido pelo adesivo contendo 5% NPsC. O aumento na concentração de NPsC (2,5% a 5%) resultou na formação de tags resinosos apropriadas e uma camada híbrida uniforme. No entanto, os adesivos de 2,5% e 5% NPsC demonstraram menor viscosidade e GC em comparação com o controle (o aumento do teor de carga diminuiu o DC e vice-versa). Dessa maneira, adesivos dentinários reforçados com NPsC são eficazes em melhorar a integridade da união adesiva entre a resina e a dentina.
Botelho et al. (2022)	Avaliar se 2,5% de quitosana aplicada após o condicionamento ácido da dentina ou incorporada ao sistema adesivo interfere na resistência de união à microtração da interface dente-resina.	Adesivo autocondicionante de dois passos: Clearfil SE Bond (Kuraray CO. LTDA, Umeda, Osaka, Japan) + Incorporação de quitosana nas seguintes concentrações	Nanopartículas de quitosana	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) 24 horas (imediato) e processo de envelhecimento (WA) – onde os espécimes foram imersos em solução de hipoclorito de	O processo de envelhecimento apresentou os menores valores de RU em comparação aos grupos que não foram submetidos ao processo de envelhecimento, exceto o grupo do adesivo contendo 2,5% de quitosana. Entre os grupos que receberam ou não receberam o tratamento com a quitosana, o grupo sem quitosana apresentou valores maiores e semelhantes de RU em comparação ao grupo em que a quitosana foi aplicada antes do sistema adesivo autocondicionante. Entretanto, o grupo em que a quitosana foi incorporada ao sistema adesivo, apresentou valores de RU menores e	Pode-se concluir que a incorporação de quitosana ao adesivo dentinário experimental resultou na manutenção da resistência de união após envelhecimento acelerado. Diante disso, é provável que ocorra uma maior integridade adesiva, resultando em uma maior longevidade da restauração

		: 0% e 2,5%, em peso		sódio 2,5% por 12 h e posteriormente mantidos em água destilada por 1 h.	estatisticamente significativos em relação aos grupos não foram envelhecidos, demonstrando manutenção da interface de união resina/dentina. O fator envelhecimento e a modificação do adesivo diminuíram a resistência de união da resina-dentina ($P = 0,001$). Além disso, a interação entre os fatores analisados mostrou diferenças estatisticamente significativas ($P = 0,002$).	
Bregnocch et al. (2017)	Propor o uso de nanoplaquetas de grafeno (NPG) como carga de um adesivo dentinário experimental, a fim de obter um adesivo com propriedades antimicrobianas e antibiofilme.	Adesivo experimental (não foi especificado a composição na metodologia) + Incorporação de NPG nas seguintes concentrações : 0% (controle), 0,1% (A01), 0,2% (A02) e 0,5% (A05), em peso	Nanoplaquetas de grafeno (NPG)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (<i>Streptococcus Mutans</i>) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24 horas Análise da interface dentina-resina PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICA: Viscosidade	A análise da propriedade reológica demonstrou que o adesivo experimental A05 apresenta a maior viscosidade em relação aos outros espécimes. Em relação a resistência de união, o grupo de controle tem RUM correspondente a $31,44 \pm 3,40$ MPa. E não houve diferença estatística entre os adesivos experimentais A01 e A02 quando comparados ao grupo controle. Com base em resultados anteriores, as propriedades antibacterianas dos adesivos experimentais foram avaliadas nas amostras A01 e A02. Após 24 h de incubação, a amostra A02 demonstrou alta atividade antibacteriana; apenas 28% dos <i>S. mutans</i> foram capazes de sobreviver ao tratamento com adesivo A02. Em contraste, a amostra A01 não exerce efeito na sobrevivência de <i>S. mutans</i>. O adesivo A02 é capaz de reduzir a formação de biofilme nos dentes em 56%, em relação ao adesivo controle.	De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a incorporação de NPG em adesivos dentinários, inibe significativamente a adesão e o crescimento de <i>S. mutans</i> in vitro, promovendo concomitantemente uma ação mecânica. Além disso, foi demonstrado que o desempenho mecânico dos adesivos dentinários experimentais são praticamente idênticos ao controle. Portanto, é possível otimizar um novo adesivo dentinário antimicrobiano sem alterar as propriedades de adesão.
Cai et al. (2022)	Propor um novo método de combinação de dendrímeros de poli(amido amina) (PAMAM) carregados com clorexidina (CHX) com um adesivo dentinário contendo nanocargas de	Prime&Bond (PBE, Dentsply Caulk, DE, USA) + Incorporação de ACP na concentração de 20% *GRUPOS:	Dendrímeros de poli(amido amina) (PAMAM) carregados com clorexidina (CHX) e nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (ACP)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Inibição de metaloproteinases (MMPs) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24 horas	A porcentagem relativa de células vitais após incubação na eluição da amostra, mostrou que houve diferenças significativas entre os métodos de tratamento ($P < 0,05$) e os ciclos de teste ($P < 0,05$). A interação desses dois fatores foi estatisticamente significativa ($P < 0,05$). A viabilidade celular estava na ordem: Teflon (controle negativo) = Controle = CHX-PAM = CHX-PAM-ACP > CHX-ACP para o 1º ciclo e Teflon > Controle = CHX-PAM = CHX-PAM-ACP > CHX-ACP para o 2º ciclo ($P < 0,05$). Não houve nenhuma diferença significativa entre o 1º e o 2º	Dentro das limitações do presente estudo, pode-se concluir que o novo método aumentou efetivamente a durabilidade da união ao reduzir a citotoxicidade do CHX, inibir as atividades das MMPs, manter o μ TBS e induzir a remineralização da dentina.

	fosfato de cálcio amorfo (ACP) para aumentar a durabilidade da união dentina-resina.	1)Grupo controle=água deionizada+ PBE 2)Grupo CHX-PAM: pré-tratamento com CHX-PAM + PBE 3)Grupo CHX-ACP: pré-tratamento com CHX + ACP-PBE 4)Grupo CHX-PAM-ACP: pré-tratamento com CHX-PAM + ACP-PBE		Permeabilidade da interface de união PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Remineralização	ciclo para os grupos Teflon ou CHX-ACP. Para os grupos Controle, CHX-PAM e CHX-PAM-ACP, significativamente mais células vitais estavam presentes no 1º ciclo ($P < 0,05$) do que no 2º ciclo. Para o grupo CHX-ACP, a viabilidade celular foi significativamente menor do que os outros grupos em ambos os ciclos. Nos resultados de resistência de união, foi observado valores semelhantes em todos os quatro grupos antes do desafio termomecânico (TMC). Após o TMC, valores de μTBS significativamente menores foram registrados no grupo Controle, enquanto nenhuma diferença significativa foi observada para os outros três grupos antes ou depois do TMC. As imagens representativas da zimografia in situ mostrou que o grupo controle apresentava intensa fluorescência verde dentro da camada híbrida (indicativo de atividade de MMPs endógenas). Uma fluorescência verde estatisticamente mais fraca foi observada no grupo CHX-ACP. A porcentagem de área verde foi de $50,3\% \pm 5,4\%$. O valor de fluorescência no grupo CHX-PAM ($20,8\% \pm 2,4\%$) e no grupo CHX-PAM-ACP ($19,2\% \pm 2,1\%$) foi ainda menor do que do grupo CHX-ACP ($P < 0,05$). Em relação a permeabilidade da interface dentina-resina, foi identificado permeação de água dentro da camada híbrida em todos os grupos. No entanto, a permeação pode ser limitada apenas à camada híbrida pois nenhum canal de água ou bolhas de água estavam dentro ou acima da camada adesiva. Não houve diferença significativa entre os quatro grupos ($P > 0,05$). As amostras de dentina desmineralizada e tratada com os quatro métodos mostrou que o grupo controle apresentava túbulos dentinários abertos e fibrilas de colágeno expostas dentro destes túbulos. Para os grupos CHX-PAM e CHX-ACP, as fibrilas de colágeno expostas eram quase as mesmas do controle. Para o grupo
--	--	---	--	--	---

					CHX-PAM-ACP, minerais de cristal em forma de agulha regeneraram-se na dentina e cobriram a maioria dos túbulos dentinários. Por meio de análise microscópica foi possível detectar a razão Ca/P dos minerais regenerados no grupo CHX-PAM-ACP. A razão molar foi de 1,65, próxima à da hidroxiapatita.	
Carvalho et al., 2020	Demonstrar um método hidrotérmico simples para sintetizar nanopartículas de hidroxiapatita de estrôncio pura $[Sr_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ HApSr e avaliar seu potencial como carga para adesivos dentinários a fim de obter um material odontológico melhorado em termos de radiopacidade e propriedades físico-químicas	Adesivo Scotchbond Multi Purpose (3M, St. Paul, USA) + Incorporação de nanopartículas de HApSr (0h, 2h e 5h) e nanopartículas de hidroxiapatita de cálcio (HAp) *Scotchbond Multi Purpose (3M, St. Paul, USA) – controle negativo	Nanopartículas de hidroxiapatita de estrôncio pura $(Sr_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ e nanopartículas de hidroxiapatita de cálcio (HAp)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Radiopacidade (RD) Grau de conversão (GC) Elasticidade (E) Módulo de flexão (MF) *Observação: Fosfatos de estrôncio foram preparados usando co-precipitação (HApSr0h) e tratamento hidrotérmico por 2 e 5h (HApSr2h e HApSr5h)	A radiopacidade dos espécimes HApSr0h ($0,74 \pm 0,4$ mm Al), HApSr2h ($1,1 \pm 0,3$ mm Al) e HApSr5h ($0,8 \pm 0,1$ mm Al) foram estatisticamente maiores em comparação aos adesivos contendo HAp e controle ($p < 0,05$). O teste GC não mostrou diferença estatística entre os adesivos ($p = 0,904$) O adesivo controle (1230 ± 201 MPa) apresentou o maior valor de MF a um nível <i>significativo</i> em comparação com os outros adesivos. Já o valor do módulo de Young da HAp (1107 ± 211 MPa) foi estatisticamente maior em relação as apatitas de estrôncio.	Os resultados deste estudo confirmam que o método hidrotérmico é uma rota de síntese química simples e eficiente para a preparação de nanopartículas de HApSr puras. O aumento da duração do tratamento hidrotérmico promoveu o rearranjo de átomos na rede cristalina, resultando em maior pureza. Portanto, a incorporação de HApSr ao adesivo dentinário pode ser capaz de melhorar a radiopacidade, apesar de reduzir ligeiramente o módulo de Young. No entanto, o grau de conversão não é afetado nas nanopartículas contendo cálcio ou estrôncio.
Choi et al. (2020)	Avaliar os efeitos a curto e longo prazo de adesivos dentinários (AD), contendo nanopartícula mesoporosa de vidro bioativo (NMB) e nanopartícula mesoporosa de vidro bioativo dopadas com zinco (Zn) NMB -Zn, nas	Adesivo dentinário (AD): All bond universal (BISCO, Schaumburg, IL, EUA) + Incorporação de NMB e NMB -Zn nas seguintes concentrações : 0,1%, 0,5% e	Nanopartícula mesoporosa de vidro bioativo (NMB) e nanopartícula mesoporosa de vidro bioativo dopadas com zinco (Zn) (NMB -Zn),	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Inibição de metaloproteinases (MMPs) Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans) PROPRIEDADES MECÂNICAS	Comparado com o AD ($p < 0,05$), apenas o AD-1,0% NMB e AD-1,0% NMB-Zn ($p < 0,05$) exibiram uma diminuição estatisticamente significativa na atividade de MMP. 5). No entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na atividade de MMPs entre AD-1,0% NMB e AD-1,0% NMB -Zn. Os valores de RUM após a termociclagem foram significativamente aumentados em AD-1,0% NMB ($37,57 \pm 10,29$) e AD-1,0% NMB -Zn ($37,85 \pm 7,12$) em comparação com o AD ($28,77 \pm 4,16$) ($p < 0,05$).	Neste estudo, 1,0% NMB e 1,0% NMB-Zn aumentam a capacidade de remineralização dos ADs e estabilizam a RUM a longo prazo ao inibir as MMPs. Quando a concentração de Zn liberada da NMB-Zn é menor que 2 ppm, o Zn não consegue inibir suficientemente as MMPs e aumentar a resistência de união.

	propriedades biológicas e resistência de união à dentina.	1,0% em massa		Resistência de união à microtração (RUM) – antes e após termociclagem (TC) PROPRIEDADE FÍSICO-QUÍMICAS: Remineralização	Em relação a remineralização foi observado a formação de apatita na superfície dos discos de resina AD, AD-1% NMB e AD-1% NMB -Zn. A apatita que se formou nas superfícies dos discos de resina AD-1% NMB -Zn era consideravelmente maior do que outros os cristais.	
Dadkan et al. (2020)	Avaliar a incorporação de nanopartículas de ouro (NPAu) a um adesivo dentinário visando obter um adesivo com capacidade antibacteriana e propriedades mecânicas melhoradas.	Adesivo experimental (Bis-GMA,, HEMA, TMPTMA, UDMA, acetona, canforoquinon a, DMAEMA + Incorporação de nanopartículad e Au (não especifica a concentração incorporada)	Nanopartículas de ouro (NPAu)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à flexão (RF) Resistência à tração diametral (RTD) Resistência de união ao microcissalhamento (RUM _c) – 24h PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana	Foi demonstrado que a adição de NPAu na concentração de 5X aumentou a RF (36,18Mpa) do adesivo dentinário em 75%, aumentou a RUM _c (18,6 MPa) em 60% e aumentou a RTD(21,5 MPa) em 65% em relação ao adesivo controle (sem Au). O adesivo na concentração 5X de NPAu apresentou uma zona de inibição do crescimento bacteriano com um diâmetro de 2 mm o que mostra as características antibacterianas do adesivo nessa concentração	De acordo com os resultados obtidos, é possível concluir que a incorporação de NPAu de 20 nm na composição adesiva é uma estratégia bem-sucedida uma vez que essas NPs aumentaram significativamente as propriedades mecânicas do adesivo e apresentaram uma taxa reduzida de crescimento bacteriano na concentração de 5X. Portanto, a concentração de 5X é a uma excelente concentração ótima para ativar a característica antibacteriana e melhorar as propriedades mecânicas dos adesivos.
Degrazia et al. (2017)	Avaliar as propriedades físico-químicas de adesivos dentinários experimentais contendo nanotubos de nitreto de boro (BNNTs) como cargas inorgânicas.	Adesivo experimental: (BisGMA, HEMA, canforoquinon a, etil 4-dimetilamino benzoato e difeniliodônio hexafluorofosfato) + Incorporação de BNNT nas seguintes concentrações : 0%, 0,05%, 0,075%, 0,1%	Nanotubos de nitreto de boro (BNNTs)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à tração (RUT) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Ângulo de contato (AC) Microdureza (MD) Energia livre de superfície (ESL) Amolecimento em solvente (AS)	Nenhuma alteração no GC foi observada após 0,15% em peso de incorporação de BNNT. Os valores iniciais de MD aumentaram ($p < 0,05$) após a incorporação de BNNT de $19,64 \pm 1,57$ (0% em peso) para $24,62 \pm 1,44$ (0,075% em peso), $25,84 \pm 1,10$ (0,1% em peso) e $28,20 \pm 1,32$ (0,15% em peso). A incorporação de BNNT até 0,15% em peso diminuiu o AC de $66,90 \pm 4,86\%$ (0% em peso) para $28,27 \pm 4,76\%$ (0,15% em peso). Os valores médios de RUT variaram de $52,28 \pm 15,14$ MPa (0% em peso) a $65,47 \pm 13,00$ MPa (0,15% em peso), porém nenhuma diferença estatística foi observada ($p > 0,05$).	A incorporação de BNNTs até 0,15% em peso melhorou as propriedades químicas e mecânicas dos adesivos dentinários e promoveu a deposição mineral, proporcionando benefícios consideráveis sobre os materiais disponíveis

		e 0,15%, em peso.		Bioatividade/Remineralização	O AC do α-bromo aumentou significativamente ($p < 0,05$) após a incorporação de 0,075, 0,1 e 0,15% em peso, consequentemente a ELS diminuiu significativamente ($p < 0,05$) de $50,63 \pm 2,87$ mN/m (0% em peso) para $41,55 \pm 1,41$ mN/m (0,15% em peso) de BNNT. Deposição mineral foi encontrada em espécimes com incorporação de BNNT após 7 dias de imersão na solução de fluido corporal simulado. Um aumento da quantidade de minerais foi verificado para os grupos 0,075 e 0,1% em peso após 14 dias de imersão.	
Degrazia et al. (2018)	Avaliar as propriedades físico-químicas, a resistência de união à microtração a longo prazo e a citotoxicidade de um adesivo à base de metacrilato contendo nanotubos de nitreto de boro (BNNTs) como cargas.	Adesivo experimental: (BisGMA, HEMA) + Incorporação de BNNT nas seguintes concentrações: 0%, 0,05%, 0,075%, 0,1% e 0,15%, em peso.	Nanotubos de nitreto de boro (BNNTs)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) - 24h e 6 meses PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Taxa de polimerização Ângulo de contato (AC)	O GC e taxa máxima de polimerização aumentaram ($p < 0,05$) após a incorporação de 0,075 (DC = 68.9 ± 0.6) e 0,1% (DC = 70.2 ± 0.8) em peso de BNNT. O AC na dentina aumentou ($p < 0,05$) após a incorporação de 0,15% em peso de BNNT (35.8 ± 3.4). A RUM-24h não teve alterações ($p > 0,05$) após a incorporação de até 0,15% em peso de BNNT em comparação ao controle. Após 6 meses, A RUM diminuiu ($p < 0,05$) para o controle e 0,15% em peso de BNNT. Os grupos BNNT de até 0,15% em peso apresentaram RUM maior do que o controle ($p < 0,05$).	A incorporação de nanotubos de nitreto de boro de até 0,1% em peso em adesivos dentinários aumentou a estabilidade de longo prazo da dentina sem diminuir a viabilidade do crescimento de células de fibroblastos. Portanto, o uso de BNNTs como carga pode diminuir a taxa de falha dos adesivos dentinários atuais
Dutra-Correa (2018)	Avaliar os efeitos antibacterianos, citotoxicidade e de resistência de união à microtração de um adesivo dentinário contendo baixas concentrações de nanopartículas de prata (NAg).	Primer Scotchbond™ Multi-Purpose (SBMP, 3 M ESPE, St. Paul, MN, EUA) + Incorporação de NAg nas seguintes concentrações 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm,	Nanopartículas de prata (NAg).	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) - 24h e 6 meses	A incorporação de NAg no primer SBMP apresentou inibição do crescimento bacteriano para todos os ensaios e concentrações. A inibição da atividade bacteriana foi maior do que o controle em todos os grupos de NAg. Quando NAg foi incorporado, os halos de inibição variaram de 6,5 mm (50 e 100 ppm) a 7,3 mm (250 ppm) de diâmetro. A inibição do biofilme foi estatisticamente maior em 250 ppm de NAg do que no grupo controle. Adesivos com 200 e 250 ppm de NAg apresentaram os maiores valores de RUM,	O primer contendo 250 ppm de NAg apresentou efeitos antibacterianos superiores sem danos à resistência de união e/ou biocompatibilidade. A adição dessa concentração de NAg em primers parece ser promissora para a melhoria da eficácia de adesivos dentinários convencionais.

		200 ppm e 250 ppm			semelhante ao SBMP (controle,) em ambos os casos (24 h e 6 meses) ($p > 0,05$).	
Ekrikaya et al. (2023)	Avaliar o efeito de nanopartículas de prata biogênicas (NPsAg) sintetizadas pelo método de síntese verde na resistência de união à dentina em três adesivos universais diferentes e investigar sua atividade antibiofilme contra <i>Streptococcus mutans</i> (S. mutans)	Single Bond Universal (SU, 3 M ESPE, Neuss, Germany) All-Bond Universal (AU, Bisco, Schaumburg, USA) Clearfil Universal (CU, Kuraray Noritake, Okayama, Japan) + Incorporação de NPsAg nas seguintes concentrações : 0% e 0,05%, em peso	Nanopartículas de prata biogênicas (NPsAg)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) - 24h PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (S. mutans) *24 horas e ciclo de envelhecimento térmico (5000 ciclos e 10000ciclos) para todos os testes	Todos os adesivos universais contendo NPsAg mostraram maior atividade antibacteriana do que os grupos controle (sem NPsAg) ($p < 0,05$). Não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos controle na produção de ácido láctico e na atividade metabólica de unidades formadoras de colônias (UFCs), bactérias vivas e atividade metabólica MTT do biofilme de <i>S. mutans</i> ($p > 0,05$). A maior produção de ácido láctico entre todos os grupos foi de 11,06 ($\pm 0,629$) e UFC 7,61 ($\pm 0,304$), bactérias vivas 31,13 ($\pm 0,466$) e atividade metabólica MTT 0,29 ($\pm 0,376$), valores registrados em 10.000 ciclos térmicos no grupo AU contendo NP Ag ($p < 0,05$). Os valores de RUM foram significativamente menor no grupo CU+NPsAg quando submetido a 10.000 ciclos térmicos em comparação aos demais grupos ($p < 0,05$). Não houve diferença estatisticamente significativa entre os outros grupos ($p > 0,05$).	De acordo com os resultados obtidos e dentro das limitações deste estudo, nos adesivos universais contendo NPsAg biogênicas, a atividade antibacteriana aumentou e a RUM da dentina não se alterou. Exceto para Clearfil Universal Bond em 10.000 ciclos térmicos. Portanto, NPsAg biogênicas podem ser usados para melhorar os adesivos universais e fornecer efeitos antibacterianos.
Fallahzadeh et al. (2017)	Investigar o efeito da incorporação de nanopartículas de sepiolita na resistência de união à microtração de um adesivo dentinário experimental à dentina	Adesivo experimental (BisGMA, HEMA, UDMA, etanol, Trimetacrilato de 2-etil-2-(hidroximetil)-1,3-propanodiol) + Incorporação de nanopartículas de sepiolita em diferentes concentrações 0%; 0,2%; 1%;	Nanopartículas de sepiolita	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24 horas	Os resultados indicaram que a incorporação da nanopartícula de carga melhorou a RUM dentina sendo que os maiores valores foram obtidos com 1% em peso de teor de nanopartículas de sepiolita	Os resultados deste estudo mostraram que a incorporação de nanopartículas de sepiolita em um sistema adesivo experimental aumentou a RUM à dentina. O maior valor de μ foi verificado em 1% em peso. Os resultados indicam que as nanopartículas de sepiolita são cargas de reforço promissoras para melhorar a resistência de união à dentina

		2% e 5% em peso. *Adper Single Bond Plus 2 (3M ESPE) - controle				
Feitosa et al. (2019)	Refinar o método de carregamento de nanotubos adicionando clorexidina (CHX) em concentrações distintas e avaliar se a incorporação de nanotubos carregados com CHX afetaria as propriedades físico-químicas, mecânicas e biológicas dos adesivos	Sistema adesivo convencional de 3 passos: Adper Scotch Bond Multi-Purpose (SBMP; 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) *GRUPOS: 1)SBMP (adesivo não modificado, controle) 2) HNT (SBMP modificado com 15% em peso de HNT, uma concentração previamente otimizada), 3)CHX10 (SBMP modificado com 15% em peso de HNT carregado com CHX10%) 4)CHX20 (SBMP modificado com 15% em peso de HNT carregado com CHX20%)	Nanotubos de haloisita carregados com clorexidina	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Dureza Knoop (DK) Sorção de água (SA) solubilidade (SL) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antimicrobiana Inibição de metaloproteinases (MMPs)	Em relação ao GC%, foi observado que apenas o fator "adesivo" foi estatisticamente significativo ($p<0,05$). Nenhuma diferença significativa foi detectada no GC% quando a fotopolimerização por 20 s foi usada ($p>0,05$). Para a DK, houve diferenças estatisticamente significativas ao comparar HNT ($20,82\pm1,65$) e CHX20% ($21,71\pm2,83$) com os grupos SBMP e CHX10%. Em relação ao SA, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Em relação ao SL, CHX20% ($1,87 \pm 4,29 \mu\text{g}/\text{mm}^3$) apresentou o maior valor médio, que foi estatisticamente diferente de SBMP ($-4,91\pm 2,41\mu\text{g}/\text{mm}^3$) e HNT ($-4,50\pm 1,15 \mu\text{g}/\text{mm}^3$). Os dados mostraram que os grupos CHX10% e CHX20% foram os únicos grupos capazes de inibir o crescimento bacteriano, comparável ao grupo controle positivo (CHX 0,12%). Não foi detectada diferença estatisticamente significativa entre CHX10% e CHX20%, mas ambos os grupos apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p<0,05$) quando comparados ao CHX 0,12%. O adesivo modificado por nanotubo carregado com CHX liberou CHX suficiente para inibir o crescimento de <i>S. mutans</i> e <i>L. casei</i>. Os eluatos adesivos não foram capazes de inibir efetivamente a atividade de MMP-1.	Os dados sugeriram que: 1. Nenhuma diferença prejudicial foi encontrada no grau de conversão, microdureza Knoop, sorção de água e citotoxicidade quando os adesivos modificados com HNT foram comparados ao adesivo comercial não modificado (SBMP); 2. O adesivo modificado com nanotubos carregados com CHX apresentou liberação suficiente de CHX para inibir o crescimento de <i>S. mutans</i> e <i>L. casei</i>; 3. Halloysite® é um reservatório adequado para o carregamento e liberação de CHX; no entanto, eles não promoveram consistentemente a inibição de MMP-1.

Florez et al. (2020)	Investigar o impacto da incorporação de 25% e 30% (v/v) de nanopartículas de dióxido de titânio dopadas com nitrogênio (NTiO ₂) nas propriedades de sorção de água, solubilidade e citotoxicidade do OptiBond Solo Plus.	OptiBond Solo Plus (OSP; Kerr, Orange, CA, EUA) + Incorporação NTiO ₂ ao OSP nas concentrações de 0%, 25% e 30%, em peso *Adper Scotchbond (ASB; 3 M ESPE, St. Paul, MN, EUA) *Clearfil SE Protect (CSP; Kuraray Noritake Dental, Tóquio, Japão)	Nanopartículas de dióxido de titânio dopadas com nitrogênio (NTiO ₂)	PROPRIEDADES QUÍMICAS: Sorção de água (SOR) – 30 dias Solubilidade (SOL) – 30 dias	Os resultados do teste de SOR de 30 dias variaram de 25,80 µg/mm ³ (30% N_TiO ₂) a 28,01 µg/mm ³ (OSP), e espécimes obtidos de adesivos dentinários contendo 25% ou 30% de NTiO ₂ apresentaram valores médios de SOR de 30 dias (27,51 e 25,80 µg/mm ³ , respectivamente) que foram menores em comparação aos do polímero parental OSP (28,01 µg/mm ³). Os espécimes dos grupos experimentais ASB, CSP, OSP, 25% NTiO ₂ e 30% NTiO ₂ apresentaram valores médios de SOL de 30 dias que variaram de 23,88 µg/mm ³ (30% NTiO ₂) a 25,39 µg/mm ³ (25% NTiO ₂). Os espécimes obtidos de adesivos dentinários contendo 25% ou 30% de NTiO ₂ exibiram valores médios de SOL de 30 dias que foram comparáveis aos dos espécimes fabricados com ASB, CSP e OSP inalterados.	Segundo os resultados obtidos, adesivos dentinários contendo 25% ou 30% (v/v) de N_TiO ₂ apresentaram propriedades de sorção e solubilidade de água comparáveis às de OSP, CSP e ASB inalterados. Os resultados de citotoxicidade indicaram que materiais experimentais contendo 25% ou 30% (v/v) de N_TiO ₂ são biocompatíveis aos adesivos dentinários disponíveis comercialmente, apoiando fortemente a utilização segura da nanotecnologia de óxido de metal na Odontologia Contemporânea
Florez et al. (2018)	1) Síntese e caracterização de nanopartículas de dióxido de titânio dopadas com nitrogênio (NTiO ₂) em uma forma compatível com adesivos dentinários. 2) Análises topográficas, composicionais e de molhabilidade de filmes finos sintetizados com adesivos dentinários inalterados ou contendo NTiO ₂ .	OptiBond Solo Plus (Kerr Corp., USA) + Incorporação de NTiO ₂ nas seguintes concentrações: 0%, 50%, 67% e 80 % (v/v)	Nanopartículas de dióxido de titânio dopadas com nitrogênio (NTiO ₂)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Ângulo de contato (Molhabilidade) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antimicrobiana (Streptococcus Mutans)	Pelas análises microscópicas foi possível observar que adesivos dentinários contendo maiores concentrações de NTiO ₂ resultaram em materiais com superfícies mais rugosas devido à maior presença de partículas no nível da superfície. Além disso, é possível observar que materiais contendo 67 e 80 % (v/v) apresentaram partículas que não foram cobertas pela matriz adesiva quando comparados aos demais grupos. Os resultados obtidos da avaliação da molhabilidade da água nos tempos 0s (θ_{inicial}) e 59s (θ_{FINAL}) demonstram que, independentemente do grupo considerado, os ângulos de contato iniciais ($t=0s$) tiveram valores consistentemente maiores do que os valores dos ângulos de contato finais ($t=59s$). Os testes estatísticos demonstraram que valores semelhantes de ângulo de contato inicial foram obtidos em todos os grupos testados. Embora os	O presente estudo mostrou pela primeira vez que espécimes fabricados com adesivos dentinários experimentais contendo 50%, 67% ou 80% (v/v) de NTiO ₂ são agentes antibacterianos viáveis contra biofilmes cariogênicos orais. Também foi observado que os materiais experimentais tiveram comportamentos de molhabilidade semelhantes quando comparados aos adesivos dentinários inalterados, o que é extremamente importante da perspectiva clínica. Está claro que uma otimização adicional de nanopartículas e materiais é necessária para produzir materiais odontológicos

	3) Determinação da eficácia antibacteriana do NTiO_2 imobilizado em adesivos dentinários experimentais contra biofilmes de <i>Streptococcus mutans</i>.			ângulos de contato finais tenham sido menores em valor do que os ângulos de contato iniciais, uma tendência semelhante de comportamento de molhabilidade ainda pode ser notada, onde nenhuma diferença significativa pode ser observada entre os grupos testados. Os resultados apresentados indicam que, independentemente dos grupos experimentais testados ou períodos de tempo considerados (3 ou 24 horas), os biofilmes cultivados sob condições de irradiação de luz contínua (410 ± 10 nm, 3h de irradiação = $38,75 \text{ J/cm}^2$, 24h de irradiação = $310,07 \text{ J/cm}^2$) apresentaram níveis de viabilidade mais baixos quando comparados aos biofilmes pertencentes ao grupo controle ou aos grupos experimentais onde os biofilmes foram cultivados sem irradiação de luz.. Além disso, os resultados dos níveis de viabilidade dos biofilmes cultivados em condições escuras sugerem que os adesivos dentinários experimentais também podem ter propriedades antibacterianas que não dependem da irradiação de luz. Os resultados da análise de biofilme <i>Streptococcus Mutans</i> demonstraram claramente que, independentemente do grupo experimental considerado, todos os biofilmes cultivados sob condições de irradiação de luz contínua expressaram maiores instâncias de fluorescência vermelha, o que denota que esses biofilmes tinham níveis de viabilidade mais baixos do que os biofilmes cultivados em condições escuras, que fluoresceram predominantemente em verde Essas descobertas demonstram que o comprimento de onda e a dose de energia usada (410 ± 10 nm, irradiação de 3h = $38,75 \text{ J/cm}^2$, irradiação de 24h = $310,07 \text{ J/cm}^2$) durante o crescimento de biofilmes impactaram significativamente a capacidade de <i>S. mutans</i> de sustentar biofilmes viáveis. Os resultados obtidos para biofilmes pertencentes a grupos não irradiados indicam que materiais experimentais contendo 50, 67 e	capazes de prevenir a ocorrência de cáries secundárias.
--	--	--	--	---	--

					80% (v/v) de NTiO_2 em condições escuras exibiram propriedades antibacterianas que não dependiam da irradiação de luz e confirmam ainda mais os resultados de UFC/mL.	
Garcia et al. (2016)	Sintetizar e caracterizar pontos quânticos de óxido de zinco (ZnO_{QDs}) e desenvolver e avaliar um adesivo dentinário contendo ZnO_{QDs} .	Adesivo experimental (BisGMA, HEMA, canforoquinona e etil 4-dimetilaminobenzoato) + Incorporação de ZnO_{QDs} .	Pontos quânticos de óxido de zinco (ZnO_{QDs})	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Microdureza de Knoop (MDK, imediato e 2 horas) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à tração final (RTF) Resistência de união à microtração (RUM) - 24 h e 6 meses)	O adesivo ZnO_{QDs} atingiu o maior grau de conversão ($P < 0,05$) em comparação ao grupo controle (sem ZnO_{QDs}). O KHN imediato foi maior para o grupo controle ($P < 0,05$). Ambos os adesivos dentinários reduziram o MDK imediato após imersão em solvente ($P < 0,05$). Os dados de resistência RTF e RUM não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($P > 0,05$). Após 6 meses de armazenamento em água, os valores de resistência de união do grupo ZnO_{QDs} não diminuíram, enquanto o grupo controle apresentou valores significativamente menores, sem diferença ($P > 0,05$) entre os grupos após esse período. As análises microscópicas indicaram a presença de Zn no adesivo dentinário com ZnO_{QDs}. ($1,54 \pm 0,46\%$ em peso), mas não no grupo controle. Um padrão de partículas bem disperso no adesivo polimerizado foi observado.	Os resultados deste estudo mostraram um método possível e confiável para formular compósitos com cargas nanométricas não aglomeradas, esclarecendo a preocupação com a aglomeração de nanopartículas.
Garcia et al. (2018)	Avaliar os efeitos de pontos quânticos de óxido de zinco (ZnO_{QDs}) em um adesivo experimental quanto à atividade antibacteriana contra <i>Streptococcus mutans</i> e à citotoxicidade contra fibroblastos pulpares.	Adesivo experimental: (BisGMA, HEMA, canforoquinona, etil 4-dimetilaminobenzoato e hidroxitoluenobutilado) + Incorporação de ZnO_{QDs} .	Pontos quânticos de óxido de zinco (ZnO_{QDs})	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS Atividade antibacteriana (<i>Streptococcus Mutans</i>)	O adesivo dentinário contendo ZnO_{QDs} apresentou diminuição na formação de biofilme em comparação ao grupo controle (sem ZnO_{QDs}) ($p = 0,003$). A incorporação de ZnO_{QDs} reduziu a formação de biofilme na superfície do adesivo dentinário em cerca de 50%, com $2,32 (\pm 0,34)$ log UFC/mL para o grupo experimental e $4,48 (\pm 0,47)$ log UFC/mL para o grupo controle.	ZnO_{QDs} forneceram atividade antibacteriana ao adesivo dentinário experimental sem efeito citotóxico para fibroblastos pulpares. Assim, o uso de ZnO_{QDs} é uma estratégia para desenvolver polímeros restauradores antimicrobianos com nanocargas não aglomeradas.
Garcia et al. (2019)	Sintetizar pontos quânticos de titânio	Adesivo experimental: (	Pontos quânticos de titânio (QDsTiO_2) com	PRORIEDADES BIOLÓGICAS:	Os grupos $\text{TiO}_{2\text{QDs}}/\text{BMLBF4}$ apresentaram atividade antibacteriana contra a formação de biofilme	Portanto, a incorporação de 2,5% em peso de $\text{TiO}_{2\text{QDs}}/\text{BMLBF4}$ no

	(QDsTiO ₂) com um líquido iônico de imidazólio (IL; tetrafluoroborato de 1-n-butil-3-metilimidazólio, BMI.BF4) uma carga antimicrobiano não aglomerada e avaliar sua incorporação em um adesivo dentinário	BisGMA, HEMA, f bis-GMA: UDMA: HEMA e hidroxitolueno butilado) + Incorporação de TiO ₂ QDs/BMI.BF4 nas seguintes concentrações 0%, 2,5% e 5%, em peso	um líquido iônico de imidazólio (IL; tetrafluoroborato de 1-n-butil-3-metilimidazólio, BMI.BF4) - TiO ₂ QDs/BMI.BF4	Atividade antibacteriana (Streptococcus mutans) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24h e 6 meses PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Cinética da polimerização Microdureza de Knoop (MDK)	versus grupo controle (P < 0,001) imediatamente e após 3 meses em armazenamento em água, sem nenhuma diferença estatisticamente significativa entre os períodos de análise (P = 0,457). O ensaio para determinação da densidade celular mostrou viabilidade celular do grupo controle em 90,87% ±21,43%, 2,5% TiO ₂ QDs/BMI.BF4 em 120,07% ±18,04% e 5% TiO ₂ QDs/BMI.BF4 em 117,06% ±27,37%, sem diferenças significativas (P = 0,293). A cinética de polimerização mostrou que a taxa de polimerização máxima dos grupos TiO ₂ QDs/BMI.BF4 foi menor do que o grupo controle. O GC foram os seguintes: 5%TiO ₂ QDs/BMI.BF4, 59,59%±0,32%; 2,5%;TiO ₂ QDs/BMI.BF4; 59,81%±0,28%; e grupo controle, 60,99%±0,37%. Todos os grupos diminuíram a MDK após a imersão em solvente (P < 0,05), e 5%TiO ₂ QDs/BMI.BF4 apresentou o maior ΔKHN (P = 0,021). A RUM imediato não mostrou diferença entre os grupos (P = 0,239). A RU do grupo controle e do 2,5% TiO ₂ QDs/BMI.BF4 foram mantidos após 6 meses, enquanto 5% TiO ₂ QDs/BMI.BF4 diminuiu (P < 0,001).	adesivo dentinário apresentou propriedades físico-químicas e biológicas confiáveis.
Garcia et al. (2020)	Avaliar as propriedades quimiomecânicas, atividade antibacteriana e citotoxicidade de um adesivo dentinário experimental contendo nanotubos de haloisita (HNT), dopados com brometo de alquil	Adesivo experimental: (BisGMA, HEMA, canforquinona, etil 4-dimetilaminobenzoato e hidroxitolueno butilado) Incorporação de ATAB:HNT nas concentrações	Nanotubos de haloisita (HNT), dopados com brometo de alquil trimetil amônio (ATAB)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) in situ e in vitro Microdureza de Knoop (MDK, imediato e 2 horas) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM)	O adesivo controle (sem ATAB:HNT) conseguiu atingir um GC de 80,3% (±3,2), enquanto o adesivo experimental ATAB:HNT teve um GC de 81,9% (±3,4) (p > 0,05). O teste de amolecimento em solvente mostrou que não houve diferença entre os dois grupos testados para MDK _{imediato} (p > 0,05) e que ambos os grupos tiveram valores de MDK diminuídos após envelhecimento no solvente (p < 0,05), sem diferença significativa para ΔMDK% entre os dois materiais testados (p > 0,05). O grupo controle apresentou 62,1(±6,3) MPa para RUM imediato e o grupo contendo	O adesivo contendo GATAB:HNT manteve a resistência de união confiável e estável após 6 meses de envelhecimento em água destilada. Além disso, a incorporação de ATAB:HNT pode fornecer atividade antibacteriana ao adesivo sem afetar a viabilidade das células pulpareas.

	trimetil amônio (ATAB).	de 0%(controle) e 5%, em peso		- 24 horas e 6 meses PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans)	ATAB:HNT mostrou 61,4(±5,2) MPa ($p > 0,05$). Ambos os grupos não mostraram nenhuma diferença na imersão imediata e após 6 meses em água destilada (μ TBS envelhecido $p > 0,05$); e na análise não houve diferença entre os grupos ATAB:HNT e controle após o envelhecimento (imersão de 6 meses em água destilada; $p > 0,05$). O teste antibacteriano mostrou que a Incorporação de ATAB:HNT no adesivo dentinário diminuiu a viabilidade de <i>S. mutans</i> , com menos UFC/ml observados para GATAB:HNT ($p < 0,05$).	
Garcia et al. (2021a)	1)Desenvolver um adesivo dentinário experimental contendo nanopartículas de óxido de zinco (ZnO); 2)Avaliar suas propriedades químicas e mecânicas; 3)Avaliar a resposta antibacteriana contra o biofilme do microcosmo oral	Adesivo experimental:(BisGMA, HEMA, canforoquinon a, etil 4-dimetilaminob enzoato e hidroxitolueno butilado) + Incorporação de ZnO nas seguintes concentrações : 0%, 2,5%, 5% e 7,5%, em peso	Nanopartículas de óxido de zinco (ZnO)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Módulo de elasticidade(E) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à flexão (RF) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antimicrobiana	Os resultados de GC variaram de 62,21(±1,05) % para G_{CTRL} a 45,15 (±1,23)% para $G_{7,5\%}$, com diferenças estatísticas entre os grupos ($p < 0,05$). Foi observada uma correlação negativa forte e significativa ($p < 0,001$) entre a concentração de ZnO e GC (coeficiente de correlação de Spearman = -0,946). Os valores de RF variaram de 107,45(±16,41)MPa para G_{CTRL} a 84,57 (±21,82)MPa para $G_{7,5\%}$ ($p < 0,05$). Até 5% em peso de adição de ZnO, não houve diferença em relação ao G_{CTRL} ($p > 0,05$). O grupo com 7,5% em peso de ZnO apresentou menor valor em relação ao G_{CTRL} ($p < 0,05$) sem diferença para $G_{5\%}$ (100,41± 4,50 MPa). Os valores de E variaram de 4698,07(±703,17) MPa para $G_{2,5\%}$ a 3546,58 (±652,09) MPa para $G_{7,5\%}$ ($p < 0,05$). $G_{2,5\%}$ apresentou o maior valor em relação ao G_{CTRL} (3613,11±445,52 MPa) e $G_{7,5\%}$ ($p < 0,05$), sem diferença estatística entre $G_{2,5\%}$ e $G_{5\%}$ ($p > 0,05$). Nos resultados da atividade metabólica foi verificado que G_{CTRL} , $G_{2,5\%}$ e $G_{5\%}$ não apresentaram diferença significativa entre eles ($p > 0,05$) e tais grupos obtiveram valores maiores em comparação a $G_{7,5\%}$ ($p < 0,05$). A adição de nanopartículas de ZnO a 7,5% levou a uma redução de 50% na atividade metabólica	Os resultados desse estudo demonstram que nanopartículas de ZnO a 7,5% promoveram uma redução substancial de biofilmes bacterianos.. A adição de 7,5% em peso de ZnO afetou as propriedades físico-químicas e mecânicas do adesivo dentinário. No entanto, o GC foi comparável aos valores de GC relatados de adesivos comerciais, e a RF estava dentro da faixa recomendada pela ISO. O ZnO pode ser uma multiabordagem de potencial para bioatividade da próxima geração de adesivos dentinários

					dos microrganismos no biofilme formado nas superfícies das amostras. O grupo com 7,5% em peso de ZnO apresentou o menor valor de UFC/mL para microrganismos totais ($p < 0,05$). Imagens de microscopia do ensaio vivo/morto mostraram que com o aumento da concentração de ZnO de 0 para 7,5% em peso, foram visualizadas mais áreas pronunciadas de microrganismos mortos.	
Garcia et al. (2021b)	(1) desenvolver um adesivo contendo nanopartículas de óxido de ferro superparamagnéticas (NsOFS); (2) identificar e otimizar as formulações contendo as NsOFS que não promovam um efeito prejudicial nas propriedades físico-químicas; e (3) investigar um possível impacto antibacteriano dos adesivos formulados e sua citotoxicidade.	Adesivo experimental: (BisGMA, HEMA, canforoquinona, etil 4-dimetilaminobenzoato e hidroxitoluenobutilado) + Incorporação de NsOFS nas seguintes concentrações :0%, 0,0195%, 0,039%, 0,0781%, 0,1563%, 0,3125% e 0,625% em peso.	Nanopartículas de óxido de ferro superparamagnéticas (NsOFS)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à tração final (RTF) Resistência de união ao microcisalhamento (RUM_c) – 24h Resistência de união por microtração (RUM) sob campo magnético com pressão pulpar PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans)	Até 0,31% em peso de NsOFS, o grau de conversão permaneceu acima dos valores normalmente encontrados para adesivos comerciais (50% de conversão). A formulação do adesivo 0,62% em peso de NsOFS mostrou um grau reduzido de polimerização e foi removida da análise posterior. Os valores de RTF variou de 16,45(±2,95)MPa para 0,31% NsOFS a 26,30 (±3,12)MPa para 0,01% NsOFS ($p < 0,05$). A incorporação de 0,01% em peso de NsOFS resultou em maior valor de RTF para o adesivo. Já a concentração de 0,01% em peso de NsOFS no adesivo diminuiu o valor de RTF, e o adesivo atingiu valores sem diferença estatística para o grupo controle ($p > 0,05$). O grupo com a maior concentração de NsOFS apresentou valores estatisticamente menores de RUM_c em comparação ao grupo controle ($p < 0,05$). O grupo controle com o campo magnético e modelo de pressão pulpar simulada apresentou valores de RUM menores (aproximadamente 15%) do que o grupo controle sem a pressão pulpar simulada. Embora não tenha havido diferença significativa entre esses dois controles ($p > 0,05$). Os adesivos contendo NsOFS dopados a 0,07% em peso melhoraram o μ-TBS, com valores significativamente maiores do que o grupo controle sob pressão pulpar e campo magnético ($p < 0,05$). Entretanto, os adesivos	Usando um fluxo de trabalho de guia magnético durante os procedimentos adesivos, os adesivos dentinários contendo NsOFS dopados melhoraram a adesão da dentina sem alterar suas propriedades físico-químicas. Este resultado aborda o principal desafio no condicionamento total convencional da dentina durante: infiltração resinosa deficiente. O movimento magnético em tempo real dos adesivos dentinários pode abrir novos caminhos para aumentar a longevidade das restaurações à base de resina.

					contendo NsOFS dopados a 0,07% apresentaram melhores valores de μ-TBS mesmo sem a distribuição perfeita das nanopartículas por toda a camada híbrida. Não houve diferenças estatisticamente significativas nas UFCs entre os grupos ($p > 0,05$). As placas de ágar BHI e as imagens vivas/mortas mostraram proporções semelhantes de unidades formadoras de colônias e células vivas no biofilme, respectivamente, para adesivos controle e adesivos contendo NsOFS dopados a 0,31% em peso. Todos os grupos apresentaram alta viabilidade celular humana, sem diferença estatística ($p > 0,05$). Além disso, todos os grupos induziram viabilidade celular acima do ponto de corte de 70% estabilizado pela norma ISO 10993-5	
Gonapa et al. (2022)	Comparar e avaliar a durabilidade da união, a morfologia da superfície e a remineralização da interface adesiva com novos sistemas adesivos modificados com novas nanopartículas bioativas.	Adesivo dentinário de condicionamento total Tetric n bond (Ivoclar Vivadent) (AUD-CNT) + Incorporação de Nano-hidroxiapatita (nanoHAP) na concentração de 0,2%, em peso (AUD-NH) OU Nano-hidroxiapatita dopada com sílica (NH-Si) na concentração de 0,2%, em	Nanopartículas de - hidroxiapatita	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união por microcisalhamento (RUM_c) – 24h	A relação Ca/P basal para dentina hígida e condicionada com ácido foi de 1,94 e 1,46, respectivamente. Houve uma redução na razão Ca/P abaixo dos níveis de dentina condicionada com ácido após 6 meses de armazenamento no grupo AUD-CNT quando comparado ao grupo AUD-CNT 24 horas. Foi observado um ligeiro aumento no grupo AUD-NH enquanto houve um aumento significativo na razão Ca/P após 6 meses no grupo AUD-NH-Si. O grupo AUD-NH-Si apresentou os maiores valores médios de RUM_c em 1 dia (56.56 ± 3.10MPa) e 6 meses de armazenamento (50.86 ± 2.24MPa), seguido por AUD-NH e o menor valor para o grupo AUD-CNT. Após 6 meses de armazenamento, todos os grupos apresentaram redução nos valores de resistência de união, o que não foi significativo nos grupos AUD-NH-Si e AUD-NH, porém a redução estatisticamente significativa foi observada no grupo AUD_CNT.	Entre os adesivos dentinários usados no estudo, AUD-NH-Si apresentou maior eficácia para remineralização devido à sua alta capacidade infiltrativa juntamente com bioatividade e capacidade de formação de apatita contendo carbonato.. Esta camada remineralizada é hidroliticamente resistente, o que mostra os maiores valores médios de resistência de união por microcisalhamento em 24 horas e 6 meses, sem redução significativa da resistência de união o após 6 meses quando comparado a AUD-NH e AUD-CNT. Dessa maneira, a nano-hidroxiapatita dopada com sílica provou sua eficiência na estabilidade da união, remineralização e resistência hidrolítica quando incorporada em adesivos dentinários.

		peso (AUD-NH-Si)				
Gutiérrez et al. (2017a)	Avaliar o efeito da adição de nanopartículas de cobre (NCu) em diferentes concentrações em um adesivo condiciona-e-lava de dois passos (2-ER) na atividade antimicrobiana (AMA), liberação de cobre (LC), resistência à tração final (RTF), grau de conversão (GC), sorção de água (SOR), solubilidade (SOL), bem como na resistência de união (RUM) dentina-resina imediata (RUM _{IM}) e de 1 ano (RUM _{1ano}) e nanoinfiltração (NL).	Ambar (FGM Prod. Odont. Ltda, Joinville, SC, Brazil) + Incorporação de NCu nas seguintes concentrações : 0% (controle), 0,0075%, 0,015%, 0,06%, 0,1%, 0,5% e 1,0%.	Nanopartículas de cobre (NCu)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (<i>Streptococcus mutans</i>) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Liberação de cobre (LC) Grau de conversão (GC) Sorção de água (SOR) Solubilidade (SOL) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à tração final (RTF) Resistência de união à microtração (RUM): 24h e 1 ano Nanoinfiltração (NL).	Todos os adesivos experimentais contendo cobre mostraram propriedades antibacterianas contra <i>S. mutans</i> significativamente maiores do que o controle. O maior efeito antimicrobiano foi observado nos adesivos contendo cobre nas maiores concentrações (0,1%, 0,5% e 1%). Maior LC foi observado em adesivos com maior concentração de NC. Tanto para RTF quanto para GC não foram observadas diferenças significativas entre os diferentes grupos. Para a SOR cumulativa de 28 dias, nenhuma diferença significativa entre as concentrações de cobre foi detectada ($p = 0,61$). No entanto, diferenças significativas nos valores de SOL foram observadas em espécimes com diferentes concentrações de cobre ($p = 0,01$). Todos os adesivos experimentais contendo cobre mostraram solubilidade significativamente menor do que o controle. Os espécimes com a menor solubilidade foram aqueles com as maiores concentrações de cobre (0,5 e 1%). Para RUM, foi observado um aumento no valor nos grupos de NCu de 0,1% e 0,5%. Para NL, uma diminuição significativa foi observada em todos os grupos em comparação com o grupo de controle. Após 1 ano, nenhuma redução significativa de RUM e nenhum aumento significativo de NL foram observados para adesivos contendo cobre em comparação com o grupo controle.	Dentro das limitações do presente estudo, concluímos que a incorporação de nanopartículas de cobre em concentrações de até 1% sistema adesivo condiciona-e-lava de dois passos é viável e pode ser uma alternativa para fornecer propriedades antimicrobianas e preservar a união à dentina após 1 ano, sem reduzir as propriedades mecânicas das formulações dos adesivos.
Gutiérrez et al. (2017b)	Investigar o efeito da adição de nanopartículas de cobre (NCu) em diferentes concentrações em um sistema adesivo de	Ambar [AM], (FGM Prod. Odont. Ltda, Joinville, SC, Brasil) + Incorporação de NCu em	Nanopartículas de cobre (NCu)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade microbiana (<i>Streptococcus Mutans</i>) – Imediata e 2 anos	A adição de NCu proporcionou atividade antimicrobiana a todos os adesivos experimentais apenas na avaliação imediata sendo que o maior efeito antimicrobiano foi observado em adesivos com as maiores concentrações de cobre (0,1% = $10,92 \pm 0,93$mm; 0,5% = $11,51 \pm 0,79$mm e 1% = $11,87 \pm 0,52$mm).	A adição de nanopartículas de cobre em concentrações de até 0,5% no sistema adesivo condiciona-e-lava de dois passos é uma abordagem viável e pode ser uma alternativa às interfaces adesivas com propriedades antimicrobianas imediata, aumento

	condiciona-e-lava simplificado sobre a atividade antimicrobiana, microdureza Knoop, grau de conversão in vitro e in situ, bem como a resistência de união à dentina imediata e de 2 anos e nanoinfiltração.	diferentes concentrações : 0% (controle), 0,0075%, 0,015%, 0,06%, 0,1%, 0,5% e 1,0%, em peso		PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Microdureza Knoop (MK) Grau de conversão (GC) <i>in vitro</i> e <i>in situ</i> PROPRIEDADES MECÂNICAS Resistência de união à microtração (RUM) - 24h e 2 anos	Adesivos com concentrações de NCu igual ou superior a 0,06% apresentaram valores MK imediata maiores do que o adesivo controle e os adesivos de baixas concentrações de cobre. Após 2 anos de armazenamento em água, o grupo controle apresentou a mesma microdureza, no entanto, todos os adesivos contendo cobre apresentaram uma melhora significativa da microdureza. Para DC in vitro e in situ, foi observado diferenças significativas entre os grupos experimentais ($p < 0,03$). Apenas o adesivo com concentração de NCu de 1% em peso foi significativamente diferente das outras formulações (In vitro = $72.64 \pm 3.06\%$, In situ = $85.63 \pm 3.42\%$). Uma diminuição significativa na RUM após 2 anos de armazenamento foi observada para o grupo controle, bem como para os adesivos contendo cobre com concentrações de até 0,015% em peso ($p = 0,003$). No entanto, essa diminuição foi muito mais evidente para o grupo controle (redução de 43%) em comparação com os adesivos contendo 0,0075 e 0,0015% de cobre (redução de 22 a 25%).	da resistência de união imediata e de 2 anos das interfaces dentina-resina e também das propriedades mecânicas das formulações adesivas após 2 anos de armazenamento.
Gutiérrez et al. (2019a)	Avaliar o efeito da adição nanopartículas de óxido de zinco e de cobre (Np ZnO/Cu) em adesivos universais, na atividade antimicrobiana (AMA), citotoxicidade (CTX), sorção de água (SOR) e solubilidade (SOL), microdureza Knoop (MK) e grau de conversão (GC) in vitro, bem como na resistência de união à	Prime&Bond Active (Dentsply-Sirona, Konstanz, Baden-Württemberg, Alemanha) e Ambar Universal (FGM Prod. Odont. Ltda, Joinville, SC, Brasil). + Incorporação das nanopartículas nas seguintes	Nanopartículas de óxido de zinco e de cobre (Np ZnO/Cu)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Sorção de água (SOR) Solubilidade (SOL), Microdureza Knoop (MK) – 24 horas e 28 dias Grau de conversão (GC) in vitro e in situ	Os resultados da atividade antimicrobiana contra S. mutans mostrou que todas as soluções contendo ZnO/Cu mostraram propriedades antibacterianas contra S. mutans significativamente maiores do que o controle ($p = 0,001$). Para ambos os adesivos universais, apenas 5/0,2 grupos mostraram propriedades antibacterianas contra S. mutans significativamente maiores do que o respectivo controle. A SOL do adesivo Prime&Bond Active, apenas o grupo 5/0,2 apresentou solubilidade significativamente maior que o controle ($p < 0,05$). Todos os adesivos Ambar Universal contendo NpZnO/Cu apresentaram solubilidade significativamente menor do que o controle (Tabela 4; $p = 0,001$).	O presente estudo foi capaz de demonstrar que a adição de óxido de zinco e nanopartículas de cobre a sistemas adesivos universais em concentrações de até 5/0,2% em peso é uma abordagem viável para fornecer propriedades antimicrobianas, bem como melhorar e estabilizar a interface dentina-resina, sem riscos biológicos significativos. A adição de óxido de zinco e nanopartículas de cobre tem influência nas propriedades mecânicas dependentes do sistema adesivo, portanto, um bom conhecimento da composição do adesivo é necessário para produzir um sistema adesivo universal

	microtração dentina-resina (μ TBS), nanoinfiltração (NL) e GC in situ.	concentrações : 0% (controle), 5% zinco e 0,1% cobre (5/0,1); 5% zinco e 0,2% cobre (5/0,2)		PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (μTBS) – 24 horas Nanoinfiltração (NL)	Em relação MK, quando a NpZnO/Cu foi incorporada ao adesivo Prime&Bond Active, nenhuma diferença significativa entre os diferentes grupos foi detectada ($p = 0,63$). Quando o NpZnO/Cu foi incorporada ao adesivo Ambar Universal, os grupos com NpZnO/Cu apresentaram valores de microdureza Knoop maiores que o controle, após 24 h e 28 dias ($p < 0,01$). Para o GC in vitro, não foram detectadas diferenças significativas entre os diferentes grupos quando o NpZnO/Cu foi incorporado ao adesivo Prime&Bond Active ($p = 0,76$). Quando o NpZnO/Cu foi incorporado ao adesivo Ambar Universal, foram observados valores significativamente maiores de GC in vitro quando comparados ao controle. Para ambos os adesivos Prime&Bond Active e Ambar Universal contendo NpZnO/Cu, não foram observadas diferenças significativas na RUM entre todos os grupos, em ambas as estratégias adesivas ($p > 0,05$). Para os adesivos Prime&Bond Active e Ambar Universal, observou-se que a adição de NpZnO/Cu apresentou menores valores de NL em relação ao controle, em ambas as estratégias adesivas ($p < 0,001$). Não foi observada diferença entre as estratégias adesivas em todos os grupos ($p > 0,05$). Para o GC in situ, nenhuma diferença significativa entre os diferentes grupos e modo de aplicação foi detectada no Prime&Bond Active ($F_p = 0,92$). Para o adesivo Ambar Universal, foi observado que as formulações adesivas com NpZnO/Cu apresentaram valores de GC maiores do que o controle nas estratégias de condiciona-e-lava (grupos 5/0,1 e 5/0,2) e autocondicionamento (grupo 5/0,2) ($p < 0,05$). Nenhuma diferença foi mostrada entre as estratégias adesivas ($p > 0,05$).	incorporando essas nanopartículas para uso comercial.
--	---	---	--	--	--	---

Gutiérrez et al. (2019b)	Avaliar a inibição das metaloproteinases (MMPs) pelas nanopartículas de óxido de zinco e de cobre (Np ZnO/Cu) e os efeitos da sua incorporação em diferentes concentrações em dois sistemas adesivos universal comercial sobre a atividade antimicrobiana (AMA), resistência a tração final (RTF), grau de conversão (GC) in vitro, bem como na resistência de união à microtração (RUM), nanoinfiltração (NL) e GC in situ da dentina afetada por cárie.	Sistema adesivo universal: Prime&Bond Active (Dentsply-Sirona, Konstanz, Baden-Württemberg, Alemanha) Ambar Universal (FGM Prod. Odont. Ltda, Joinville, SC, Brasil). + Incorporação das nanopartículas nas seguintes concentrações : 0% (controle), 5% zinco e 0,1% cobre (5/0,1); 5% zinco e 0,2% cobre (5/0,2) Os adesivos	Nanopartículas de óxido de zinco e de cobre (Np ZnO/Cu)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade anti-MMPs (metaloproteinase s) Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de de conversão (GC) in vitro e in situ PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência a tração final (RTF) – imediato e 28 dias Resistência de união à microtração (RUM) – 24 horas Nanoinfiltração * Os adesivos foram aplicados em duas estratégias adesivas para o teste de resistência de união à microtração): 1) Modo condiciona-e-lava (ER) 2) Modo autocondicionante (SE)	Os níveis de atividade da MMP-2 foram significativamente menores para os grupos 5/0,1 e 5/0,2 quando comparados ao controle positivo, mostrando atividade inibitória ($p < 0,01$). Os níveis de atividade da MMP-8 foram significativamente menores quando comparado ao controle positivo, mostrando atividade inibitória ($p < 0,01$). Finalmente, os níveis de atividade da MMP-9 foram significativamente menores para os grupos 5/0,1 e 5/0,2 quando comparados ao controle positivo, mostrando atividade inibitória ($p < 0,01$). O grupo 5/0,1 apresentou níveis de atividade significativamente maiores quando comparado ao controle inibidor e aos grupos 5/0,2 ($p < 0,05$). Dessa maneira, Np ZnO/Cu demonstrou atividade anti-MMP ($p < 0,05$). Quando ambos os adesivos não foram polimerizados, todas as soluções contendo Np ZnO/Cu mostraram propriedades antibacterianas significativamente maiores contra S. mutans e significativamente maiores do que os controles ($p < 0,01$). Por outro lado, quando ambos os adesivos foram polimerizados, apenas os grupos 5/0,2 mostraram propriedades antibacterianas significativamente maiores contra S. mutans e significativamente maiores do que os seus respectivos controles ($p < 0,05$). Quando o NpZnO/Cu foi incorporado ao adesivo Prime&Bond Active, não foram observadas diferenças significativas nos valores de RTF entre os grupos NpZnO/Cu e controle, após 24h ou após 28 dias ($p > 0,05$). Uma diminuição significativa na resistência à tração final após 28 dias de armazenamento foi observada em todos os grupos ($p < 0,001$). Para o adesivo Ambar Universal, os grupos com NpZnO/Cu apresentaram valores de RTF mais altos do que o controle, após 24 h e 28 dias ($p < 0,001$) e não foram observadas diferenças significativas na resistência à tração final após 28 dias de armazenamento em todos os grupos ($p > 0,05$).	A adição de óxido de zinco e nanopartículas de cobre em concentrações de até 5/0,2% em peso em dois sistemas adesivos universais é uma abordagem viável e pode ser uma alternativa às interfaces adesivas com atividade antimicrobiana contra S. mutans e melhora a integridade da camada híbrida na dentina afetada por cárie.
--------------------------	---	---	---	--	---	---

					Para o GC in vitro, não foram detectadas diferenças significativas entre os grupos quando o NpZnO/Cu foi incorporado aos adesivos Prime&Bond Active (p=0,20) e Ambar Universal (p = 0,84). Para o Prime&Bond Active, não foram observadas diferenças significativas nos valores de RUM entre todos os grupos, em ambas as estratégias adesivas (p>0,05). Para o Ambar Universal, não foram observadas diferenças significativas nos valores de RUM entre todos os grupos, quando NpZnO/Cu foram adicionados (p>0,05). Uma diferença significativa entre as estratégias adesivas foi observada apenas no grupo controle (p < 0,05). Para Prime&Bond Active e Ambar Universal, não foram observadas diferenças significativas para o GC in situ entre todos os grupos, em nenhuma das estratégias adesivas (p>0,05). Não foram mostradas diferenças entre as estratégias adesivas em todos os grupos, em ambos os sistemas adesivos (p > 0,05).	
Halkai et al. (2022)	Avaliar a resistência de união por push-out de cavidades de classe II de molares superiores restaurados com diferentes concentrações de nanopartículas de quitosana (NQS) incorporadas em uma resina composta universal (RC) e em um agente de união dentinário de oitava geração (AUD).	Adesivo dentinário: G-Premio Bond (GC Dental Products Corp, Kasugai, Japão) e Resina composta: NeoSpectra (Dentsply Sirona, EUA) + Incorporação de NQS em duas concentrações : 0%, 0,25% e 2%	Nanopartículas de quitosana (NQS)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união por push-out	Os resultados obtidos mostraram que a maior resistência de união por push-out foi observada no Grupo 3A (0,25%NQS + RC) =623,2N seguido pelo Grupo 1 (controle)=568,8N, 2A (2%NQS + RC)= 475,4N, 3B (0,25%NQS + RC)=368,8N, 3C (0,25% NQS + AUD+ RC) =263,4N, 2B (2%NQS + AUD)= 165,2N e menos no 2C (2%NQS + AUD + RC) com 73,2N. Com base em múltiplas comparações, não houve diferença de significância estatística entre os grupos 1, 3A e 2A; entre 2A e 3B; e entre 3C, 2B e 2C (P≤ 0,05).	A RC ou AUD incorporada com 0,25%NQS não afetou a resistência de união push-out de restaurações de classe II em comparação com sem NQS. Portanto, pode ser incorporada para melhorar a ação antibacteriana e a longevidade da restauração de resina composta.

		*Os espécimes foram arbitrariamente alocados em três grupos para restauração: Grupo 1: restauração composta sem NQS (controle) Grupo 2: 2% NQS Grupo 3: 0,25% NQS Os grupos 2 e 3 foram subdivididos em três subgrupos: Subgrupo A: NQS incorporado na resina composta Subgrupo B: NQS incorporado no adesivo dentinário Subgrupo C: NQS incorporado no adesivo dentinário e na resina composta				
He et al. (2023)	Sintetizar nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo-proantocianidina (NPs/ACP-PA)	Single Bond Universal (SBU, 3 M ESPE, USA) +	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo-proantocianidina (NPs/ACP-PA)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS Inibição de metaloproteínas (MMP-2 e MMP -9)	Os resultados da liberação in vitro de íons Ca e P de NPs/ACP-PA e NPs/ACP(controle), mostrou uma explosão inicial de liberação de íons Ca e P nas primeiras 48 h, que desacelerou para uma liberação estável em 7 dias. Com o pH reduzido de 7,4 para 5,5, uma taxa de liberação mais	As NPs/PA-ACP sintetizadas neste estudo são sólidas e esféricas com tamanho uniforme e sem citotoxicidade, e que podem liberar continuamente íons Ca e P necessários para a mineralização.

	pela primeira vez, para caracterizar suas propriedades físico-químicas, a capacidade de liberar íons cálcio (Ca) e fosfato (P) e a citotoxicidade, e investigar seu efeito na proteção da matriz de colágeno desmineralizada e na promoção da mineralização biomimética do colágeno e da dentina desmineralizada.	Incorporação de NPs/ACP-PA na concentração de 20% (adesivo mineralizante)		PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Liberação de íons Ca e P Mineralização do colágeno e da dentina desmineralizada	rápida e maior quantidade de liberação de íons Ca e P foi alcançada. No entanto, uma ligeira flutuação nas concentrações de íons foi observada após 3 dias. Comparado com NPs/ACP, a liberação cumulativa de íons Ca e P de NPs/PA-ACP após 3 dias foi maior no tampão de pH 5,5. De acordo com a análise semiquantitativa, a atividade da collagenase não foi significativamente diferente ($p > 0,05$) entre os grupos clorexidina (CHX – controle positivo), NPs/ACP-PA e PA. Após o tratamento com NPs/ACP-PA, a atividade da collagenase diminuiu em ~40% em relação aos grupos NPs/ACP e controle (água deionizada). Nos grupos NPs/ACP e controle (collagenase), a rede de colágeno entrou em colapso após 1 dia, e uma estrutura deteriorada foi observada na dentina intertubular e peritubular após 3 e 7 dias. Em contraste, rede de colágeno frouxa e os túbulos dentinários permaneceram relativamente intactos após 1, 3 e 7 dias no grupo NPs/ACP-PA. Além disso, após 7 dias as fibrilas de colágeno foram revestidas por minerais recém-formados. No grupo NPs/ACP nenhuma mineralização de colágeno foi observada após 1 e 3 dias e as fibrilas de colágeno foram fortemente mineralizadas após 7 dias. Em contraste, após o tratamento com NPs/ACP-PA, partículas esféricas se agregaram na superfície do colágeno após 1 dia, e a maioria das fibrilas de colágeno foi mineralizada após 3 dias. Após incubação por 7 dias, as fibrilas de colágeno atingiram mineralização intrafibrilar quase completa. A análise microscópica das superfícies de dentina mostrou que após 7 dias de remineralização, picos característicos de hidroxiapatita (HAP) no grupo NPs/ACP-PA se recuperaram significativamente, com uma intensidade próxima à da dentina hígida e mais	As NPs/PA-ACP protegeram efetivamente o colágeno da dentina desmineralizada e promoveram a mineralização biomimética de fibrilas de colágeno tipo I e dentina desmineralizada. Além disso, o adesivo contendo NPs/ACP-PA tem o potencial de induzir a mineralização biomimética do colágeno desmineralizado na interface adesiva. Dadas as descobertas acima, as NPs/ACP-PA têm potencial para o reparo biomimético da dentina desmineralizada, estabelecendo uma base para o desenvolvimento de novos materiais de mineralização biomimética.
--	--	--	--	--	--	---

					forte do que no grupo NPs/ ACP. Os discos de dentina no grupo NPs/ACP-PA mostraram uma intensidade maior de picos de PO_4^{3-} do que no grupo NPs/ACP após incubação pelo mesmo tempo. As imagens representativas das fibrilas de colágeno na interface de união, mostrou que nenhuma mineralização aparente de colágeno foi observada no grupo SBU após incubação em saliva artificial por 1 e 3 meses. No grupo SBU+NPs/PA-ACP, as fibrilas de colágeno estavam levemente mineralizadas após 1 mês. Após 3 meses, uma mineralização intrafibrilar óbvia foi alcançada com as fibrilas de colágeno, tornando-as mais espessas e densas.	
Hiers et al. (2022)	Caracterizar (I) o grau de conversão no momento da síntese do polímero e após dois anos de vida útil simulada, (II) a resistência à flexão biaxial, (III) o módulo de flexão, (IV) a rugosidade da superfície, (V) o módulo de elasticidade e (VI) as propriedades antibacterianas a longo prazo adesivos dentinários experimentais, contendo concentrações variáveis de nanopartículas de dióxido de titânio dopada com nitrogênio (NTiO_2) (10%, 20% e 30%, v/v%).	OptiBond Solo Plus (OPTB, Kerr Corp.) + Incorporação de NTiO_2 nas seguintes concentrações :0%, 10%, 20% e 30%, em peso	Nanopartículas de dióxido de titânio dopada com nitrogênio (NTiO_2)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Módulo de flexão (MF) Módulo de elasticidade (ME) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à flexão biaxial (RFB) Módulo de elasticidade (ME) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade Antibacteriana (<i>Streptococcus Mutans</i>) a longo prazo (24 meses)	Os resultados relatados indicaram claramente que os valores de GC diminuiram após dois anos de vida útil simulada, independentemente do material (inalterado ou experimental) ou da concentração de NTiO_2. Os valores de GC variaram de 82,17% (10% NTiO_2) a 85,23% (30% NTiO_2) e de 79,73% (10% NTiO_2) a 82,47% (20% NTiO_2). As menores reduções nos valores de GC após dois anos de vida útil simulada foram detectadas em materiais experimentais contendo 20% de NTiO_2 (1,86%), o que sugere que a incorporação e funcionalização de NTiO_2 no OPTB não afeta negativamente a estabilidade da vida útil do polímero parental ao longo de 24 meses. A incorporação de NTiO_2 resultou em adesivos experimentais com propriedades mecânicas superiores, conforme denotado pelos valores de RFB e MF que foram numericamente maiores e estatisticamente significativos ($p < 0,05$; MF), quando comparados aos de OPTB. O módulo de elasticidade dos materiais experimentais contendo 20% e 30% de NTiO_2 demonstrou ser numericamente maior e estatisticamente diferente ($p = 0,001$), quando comparado ao do polímero parental, o que indica que os adesivos experimentais produziram	De acordo com os resultados obtidos, foi demonstrado que adesivos experimentais apresentam valores mais altos de GC após a síntese do polímero e após dois anos de vida útil simulada e possuem melhores propriedades mecânicas. As eficácias antibacterianas dos materiais experimentais relatados foram comparáveis ao da clorexidina em pontos de tempo específicos e sustentaram fortes propriedades antibacterianas durante longos períodos de vida útil simulada (24 meses) e envelhecimento (12 meses). Portanto, os resultados do presente estudo sugerem que os materiais experimentais relatados podem estender a vida útil de restaurações unidas à base de polímero, diminuindo a viabilidade de microrganismos patogênicos orais geralmente associados à ocorrência de cáries secundárias.

					espécimes muito mais rígidos do que aqueles produzidos com OPTB. Os resultados relatados sugerem que as propriedades antibacterianas dos adesivos experimentais variaram de maneira dependente da concentração, e os adesivos experimentais podem ser classificados em termos de aumento das propriedades antibacterianas ($10\% < 20\% < 30\%$). Também pode-se notar ao observar os resultados dos pontos de tempo T2, T3 e T4 (6, 12 e 24 meses, respectivamente), que o tempo de armazenamento afetou negativamente todos os materiais investigados (inalterados e experimentais), conforme denotado por atividades metabólicas que foram progressivamente maiores. As propriedades antibacterianas dos adesivos experimentais contendo 30% de NTiO_2 foram comparáveis às de Clorexidina nos pontos de tempo T1 e T2 (0 e 1 mês), mas foram menos pronunciadas nos pontos de tempo T3, T4 e T5 (3, 6 e 12 meses, respectivamente).	
Hong et al. (2023)	Caracterizar a resistência de união ao cisalhamento (RUC) e a estabilidade de cor (EC) de adesivos dentinários experimentais contendo concentrações variáveis (10%, 20% e 30%, v/v%) de nanopartículas antibacterianas de dióxido de titânio co-dopadas com nitrogênio e flúor (NFTiO_2) antibacteriano	OptiBond Solo Plus (OPTB, Kerr Corp., Orange, CA, USA) + Incorporação de NFTiO_2 nas seguintes concentrações: 0%, 10%, 20% e 30%, em peso	Nanopartículas de dióxido de titânio co-dopadas com nitrogênio e flúor (NFTiO_2)	PROPRIEDADE FÍSICO-QUÍMICAS: Estabilidade de cor PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC) - 24 horas, 3 meses e 6 meses	Os valores médios de RUC variaram de $16,39 \pm 4,20 \text{ MPa}$ ($\text{OPTB} + 30\% \text{NFTiO}_2$) a $19,11 \pm 1,11 \text{ MPa}$ (OPTB), de $12,99 \pm 2,53 \text{ MPa}$ ($\text{OPTB} + 30\% \text{NFTiO}_2$) a $14,87 \pm 2,02 \text{ MPa}$ (OPTB) e de $11,37 \pm 1,89 \text{ MPa}$ ($\text{OPTB} + 20\% \text{NFTiO}_2$) a $14,19 \pm 2,24 \text{ MPa}$ (OPTB) após 24 horas, 3 meses e 6 meses de armazenamento, respectivamente. Os materiais experimentais tiveram valores de SBS comparáveis ($p > 0,05$) aos do OPTB, independentemente da concentração de nanopartículas ou do período de tempo considerado. Adesivos experimentais com maiores concentrações de NFTiO_2 apresentaram variações de cor menos intensas e foram mais estáveis do que OPTB, mesmo após 10.000 termociclos.	Os resultados relatados demonstraram que adesivos experimentais podem estabelecer uniões fortes e duráveis à dentina e ao mesmo tempo apresentar cores mais estáveis, sugerindo, assim, que a nanotecnologia antibacteriana investigada pode suportar as condições adversas dentro da cavidade oral sem comprometer o componente estético das restaurações dentárias.

Hussain et al. (2020)	Sintetizar nanopatita enxertada com uretano (nHA enxertada-UDMA) no menor tempo possível usando o método de irradiação de micro-ondas e utilizá-la para síntese de adesivos dentinários experimentais.	Adesivo experimental (Bis-GMA, UDMA, HEMA, canforoquinon a, etil 4-dimetilaminobenzoato) + Incorporação de nHA enxertada-UDMA nas seguintes concentrações : 5% (U-HA5), 10% (U-HA10), e 15% (U-HA15, em peso	Nanopartícula de apatita	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Análise de sedimentação em água deionizada (AD) e tampão fosfato-salino (TFS) Microdureza Knoop (MDK) Grau de conversão (GC) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus mutans): 6h, 24h e 48h	O GC de U-HA5, U-HA10 e U-HA15 foram 86%, 83% e 85%, respectivamente, e nenhuma diferença significativa foi observada entre esses grupos. As imagens microscópicas de U-HA5, U-HA10, U-HA15 mostraram distribuição uniforme de nanopartículas e impregnação na matriz resinosa do adesivo. A análise de medição de peso mostrou que com um aumento na concentração de partículas de HA enxertadas na matriz resinosa, a perda de peso diminuiu em ambos os meios de armazenamento, ou seja, AD e TFS. No entanto, uma diferença significativa ($p \leq 0,05$) foi observada com intervalos de tempo quando as amostras foram armazenadas em AD em comparação com TFS, independentemente da concentração das partículas enxertadas. Um maior valor de MDK foi observado em U-HA15 quando comparado a U-HA5 e U-HA10. Os valores MK para U-HA5, U-HA10 e U-HA15 foram $20,35 \pm 0,58$; $25,4 \pm 0,78$ e $27,95 \pm 0,48$, respectivamente, sendo que não houve diferença significativa entre os grupos ($p \geq 0,05$). A diferença entre os grupos foi significativa ($p \leq 0,05$) em relação ao intervalo de tempo. Em 6 h, o número médio de colônias de U-HA5 e U-HA15 foi menor em comparação com U-HA10, onde U-HA15 apresentou valores significativamente baixos em comparação com os outros grupos. Em 48h, todos os grupos apresentaram uma diferença não significativa em termos de número de colônias. Dessa maneira, o número médio de colônias bacterianas foi significativamente menor no grupo de 15% em peso em comparação com 5% em peso e 10% em peso.	A nHA enxertada-UDMA apresentou resultados favoráveis diante da incorporação em adesivos dentinários, sendo que o grupo 15% em peso apresentou resultados comparativamente superiores aos demais grupos.
Jun et al. (2018)	Desenvolver e caracterizar novas nanopartículas de vidro bioativo	Adesivo experimental (Bis-GMA, HEMA,	Nanopartículas de vidro bioativo isentas de cobre (Cu) e	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Liberação de íons	Os adesivos dentinários (AD) contendo VB-Cu mostraram liberação importante de íons Si, Ca e Cu; nenhum íon Cu foi detectado no adesivo contendo VB. A liberação de íons Si do AD-2%	Em conclusão, os resultados mostraram que o AD-VBCu (2%) é capaz de liberar íons Ca, Si e Cu, que induzem a remineralização na

	dopadas com cobre (VB-Cu) e avaliar a incorporação dessas VB-Cu em sistemas adesivos terapêuticos multifuncionais em termos de inibição de metaloproteinases (MMPs) pelos íons Cu e capacidade de remineralização pelos íons Ca, juntamente com a citocompatibilidade e bioatividade celular	canforoquinona e etil 4-dimetilaminobenzoato) + Incorporação de nanopartículas mesoparas de vidro bioativo dopadas com cobre (VB-Cu) nas seguintes concentrações :0%, 0,5%, 1% e 2% OU Nanopartículas de vidro bioativo isentas de Cu e silanizadas na superfície (BG) nas concentrações de 0% e 2%	silanizadas na superfície (VB)	Sorção de água (SOR) Solubilidade (SOL) Remineralização (RM) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Inibição de Metaloproteinases (MMPs) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24h	VBCu e AD-2%VB foi semelhante em termos de quantidade total de liberação (~1,7 ppm). No entanto, os íons Ca foram liberados mais lentamente do AD-VBCu (2%) do que do AD-VB (2%), e a quantidade total liberada do AD-VBCu (2%) foi aproximadamente metade daquela liberada do AD-VB (2%), (~0,8 ppm vs. ~1,7ppm), respectivamente. Até 28 dias, a liberação total de íons Cu foi de ~0,5 ppm para o AD-VBCu (2%) com uma diminuição gradual no padrão de liberação durante o período de teste. Todas os adesivos experimentais contendo cargas bioativas exibiram SOR (65–70 µg/mm ²) e SOL (8–13 µg/mm ²) comparáveis ao adesivo controle (60 µg/mm ² de SOR; 6,8 µg/mm ² de SOL). A avaliação da atividade de MMP mostrou que a dentina condicionada com ácido e tratada com AD-VBCu(2%) reduziu significativamente a atividade total de MMP em comparação ao controle e ao AD-VB(2%) (p < 0,05). Após o desafio com NaOCl, foi detectado que AD-VBCu (2%) induziu uma remineralização na camada híbrida comparável ao AD-VB(2%) após 14 dias de incubação em fluido corporal simulado.	interface adesiva e reduzem a atividade de degradação pela MMP na dentina desmineralizada sem afetar a resistência de união. Esses sistemas adesivos inovadores também podem ativar e estimular a (bio)mineralização celular in vitro. As propriedades químicas e biológicas do VB-Cu, como bioatividade, inibição de MMP, citocompatibilidade e diferenciação aprimorada, tornam o sistema AD-VBCu (2%) um adesivo terapêutico promissor para aplicação clínica.
Kalagi et al. (2020)	Sintetizar nanotubos de argila aluminossilicato encapsulados com clorexidina (CHX) (Halloysite®, HNTs) e incorporá-los aos componentes primer/adesivo de um sistema adesivo condicione-e-lave (Scotchbond Multipurpose, SBMP; 3M ESPE)	Adper™ Scotchbond™ Multi-Purpose (SBMP, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) + Incorporação de HNTs encapsulados-CHX: 1)HNTs sem CHX 2)10% no primer	Nanotubos de argila aluminossilicato encapsulados com clorexidina (CHX) (Halloysite®, HNTs)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Viscosidade PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união por cisalhamento (RUC) – 24 horas e 6 meses	O GC foi maior para o adesivo modificado com HNT sem CHX, enquanto os outros adesivos experimentais apresentaram GC semelhante em comparação ao controle. Os primers foram menos viscosos do que os adesivos, sem diferenças significativas dentro dos respectivos materiais. Entretanto, a presença de HNTs encapsulados em CHX não alterou a viscosidade geral dos materiais (p≥0,063). Após 24 horas, todos os grupos apresentaram RUCs semelhantes. Já no período de 6 meses, as maiores RUC foram observadas dentro dos grupos tratados com a solução CHX a 0,2%, bem como com primers modificados por CHX que demonstraram valores de resistência de união	Em conclusão e dentro das limitações deste estudo, foi demonstrado pela primeira vez o potencial da aplicação de primers modificados com nanotubos encapsulados em CHX na preservação da união dentina-resina ao longo de um período de 6 meses. Além disso, a modificação de um primer ou adesivo foi uma abordagem vantajosa uma vez que não prejudicou a polimerização, viscosidade e desempenho de união desses materiais, mostrando um efeito promissor a longo prazo na interface adesiva. A

	e avaliar seus efeitos no grau de conversão, viscosidade, união imediata e de longo prazo à dentina.	(P_HNT+10% CHX) 3)20% no primer (P_HNT+20% CHX) 4)10% no adesivo (A_HNT+10% CHX1) o 5)20% no adesivo(A_HNT+20%CHX) 6)Primer e Adesivo do SBMP sem HNT			maiores do que o adesivo controle e o adesivo modificado por HNT sem CHX ($p \leq 0,015$).	concentração limite de CHX para encapsular o nanotubo precisa de mais investigação para elucidar seus efeitos na estabilização das uniões adesivas.
Kavrik et al. (2019)	Avaliar a resistência de união à microtração (RUM) de adesivos dentinários contendo diferentes proporções de cargas nanométricas de hidroxiapatita (HA)	Adper Scotchbond multi-purpose (SBMP, 3 M Espe St Paul, MN) + Incorporação de nanopartículas de AH nas seguintes concentrações : 0% (controle), 2%, 5% e 7%, em peso	Nanopartículas de hidroxiapatita (HA)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união (RUM) – 24 horas	O valor médio máximo de RUM foi de 31,56MPa para o grupo HA de 7%, e esse valor foi significativamente maior do que os dos outros grupos ($p < 0,05$). O valor médio mínimo da RUM foi de 27,56MPa para o grupo controle. No entanto, não houve diferenças significativas entre os grupos controle, HA de 2% e HA de 5%.	Dentro das limitações do presente estudo, pode se concluir que adicionar diferentes proporções de cargas de HA de tamanho nanométrico ao adesivo dentinário contribuiu positivamente para os valores imediatos da RUM à dentina.
Keskar et al. (2019)	Sintetizar nanoestruturas compostas de fosfato de cálcio amorfo (ACP) carregado com nanopartículas de prata (Ag) usando um método de	Single Bond (3M ESPE) + Incorporação nanopartículas de ACP carregadas com Ag nas seguintes	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (ACP) carregadas com nanopartículas de prata (Ag)	PROPRIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS: Liberação de íons prata, cálcio e fosfato (remineralização)	As nanopartículas compostas forneceram uma liberação inicial rápida de íons, sendo que posteriormente a concentração de cálcio, fósforo e prata na solução de incubação permaneceu constante ou aumentou ligeiramente.	Dentro das limitações do nosso estudo, concluímos que a dispersabilidade apropriada e a liberação de íons dessas nanoestruturas podem ter grande potencial para uso como aditivo em materiais odontológicos.

	pirólise por pulverização e demonstrar seu potencial para uso em adesivos dentinários	concentrações : 0%, 2%, 5% e 10%				
Khan et al. (2023)	Avaliar se a incorporação de nanopartículas de zircônia/fosfato de prata (ZrO_2/Ag_3PO_4) em um adesivo dentinário afeta suas propriedades físicas e mecânicas	Adesivo experimental (BIS-GMA, UDMA, TEGDMA, canforoquinona e etil 4-dimetilaminobenzoato) + Incorporação de ZrO_2/Ag_3PO_4 nas seguintes concentrações : 0%, 0,15%, 0,25% e 0,5%. *Adesivo universal Tetric N-bond universal (TEU, Ivoclar Vivadent; Schaan, Liechtenstein – controle negativo	Nanopartículas de zircônia/fosfato de prata (ZrO_2/Ag_3PO_4)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Microdureza Knoop (MDK) Módulo de flexão (MF) Estabilidade de cor (1 dia, 30 dias e 60 dias) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à flexão (RF) Resistência de união ao cisalhamento (RUC)– 1 dia e 30 dias PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Pseudomonas aeruginosa (MDR-PA) e Staphylococcus aureus resistente à meticilina (MRSA))	Os valores de concentração inibitória mínima (CIM) de ZrO_2/Ag_3PO_4 contra MDR-PA e MRSA foram de 0,25 mg/mL e 0,5 mg/mL, respectivamente, enquanto os valores de concentração bactericida mínima (CBM) para MDR-PA e MRSA foram de 1,0 mg/mL e 2,0 mg/mL, respectivamente. Dessa maneira, as nanopartículas mostraram atividades antibacterianas contra ambas as cepas (MDR-PA e MRSA) e inibiram a formação de biofilme. A faixa de GC dos grupos experimentais foi de 55–66%. A MDK e a RF aumentaram com a concentração de nanopartículas no adesivo. O grupo de 0,5% em peso apresentou valores de MDK Os resultados de RF e MF apresentaram uma diferença não significativa entre os grupos. No entanto, uma diferença significativa foi encontrada entre o grupo controle e todos os adesivos experimentais. 0,25%Exp e 0,25%Exp apresentaram RF semelhante e valores aumentados em comparação com 0,15%Exp e 0%Exp. No entanto, entre os dados de módulo, o maior valor foi obtido para 0,25%Exp. A RUC foi maior no dia 1 do que no dia 30, e uma diferença significativa foi observada entre os dois períodos. No dia 1, uma diferença não significativa foi observada dentro do grupo onde a resistência de união máxima foi demonstrada por 0,25%Exp ($43,18 \pm 0,94$ MPa) e mínima por 0%Exp ($40,47 \pm 0,41$ MPa). Os valores foram significativamente reduzidos no dia 30 para todos os grupos onde 0,5%Exp apresentou valores significativamente maiores ($p < 0,5$) em relação aos demais grupos.	Dentro das limitações deste estudo, conclui-se que a incorporação de nanopartículas de ZrO_2/Ag_3PO_4 à matriz resinosa produziu uma melhora significativa nas propriedades físico-químicas e mecânicas do adesivo. No geral, o 0,5%Exp apresentou resultado significativamente superior em comparação com os outros grupos.

					Os dados da medição de mudança de cor mostraram que todos os grupos apresentaram estabilidade da cor a longo prazo.	
Kreutz et al. (2022)	Avaliar se a incorporação de nanopartículas metacrilato-silsesquioxano oligomérico (EM-POSS) núcleo-casca combinadas com as partículas liberadoras de íons (bioativas) ou antibacterianas em um adesivo experimental promove propriedades bioativas e antibacterianas sem comprometer a aplicabilidade de tal adesivo.	Adesivo experimental (BisGMA, TEG DMA, HEMA, canforoquinon a e etil 4-dimetilaminob enzoato) + Incorporação de nanopartículas : 1) 5% em peso de EM-POSS + 1% em peso de núcleo-casca de nanopartículas de prata recoberta com sílica (Ag@ SiO ₂) 2) 5% em peso de EM-POSS + 1% em peso de vidro bioativo com bismuto (BAG-Bi) 3) 5% em peso de EM-POSS + 1% em peso de fosfato de cálcio (ACP)	Nanopartículas metacrilato-silsesquioxano oligomérico poliédrico (EM-POSS) Nanopartículas de prata recoberta com sílica (Ag@ SiO ₂)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Viscosidade Sorção de água (SOR) Fração de sol (FS) Contração linear (CL) Precipitação mineral (PM) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans)	As diferentes combinações das nanopartículas tiveram um efeito significativo na viscosidade de cisalhamento ($p = 0,016$) e levaram a um aumento significativo na viscosidade de cisalhamento apenas pela adição de EM-POSS/ACP em comparação ao adesivo puro ($p = 0,013$). Ainda assim, uma tendência ao aumento da viscosidade (complexa e de cisalhamento), embora não significativa, pode ser observada em todos os grupos preenchidos com partículas. Em comparação ao adesivo puro, a amostra preenchida com EM-POSS/BAG-Bi exibiu uma SOR ($p = 0,007$) e FS ($p = 0,005$) significativamente maiores. Nenhuma diferença significativa foi observada entre os grupos. Em relação aos valores de CL, foi observado um efeito significativo nas diferentes combinações das nanopartículas ($p = 0,002$). Comparado ao controle, nenhuma diferença significativa para EM-POSS/ACP ($p = 0,256$), EM-POSS/BAG-Bi ($p = 1,000$) e EM-POSS/SiO ₂ @Ag ($p = 0,149$) pôde ser observada. Nenhum efeito sobre as bactérias pôde ser observado pela adição das nanopartículas em comparação ao grupo controle. Uma capacidade de indução mineral melhorada pôde ser observada em todas as combinações de nanopartículas.	A combinação de nanopartículas bioativas e/ou antibacterianas mostrou um potencial bioativo melhorado. No entanto, nenhum efeito antibacteriano adicional foi observado para qualquer combinação de partículas. Em relação à concentração estudada das partículas, foi observado apenas um efeito modesto nas propriedades do material. Portanto, tais combinações de nanopartículas mostraram-se promissoras para a aplicação em odontologia.
Leitune et al. (2019)	Desenvolver um adesivo dentinário experimental com óxido de zinco tipo nanoagulha (N-ZnO), um carga inorgânica, que	Adesivo experimental (BisGMA, TEG DMA, HEMA, canforoquinon a e etil 4-	Nanopartícula de óxido de zinco tipo nanoagulha (N-ZnO)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Radiopacidade (RD) Ângulo de contato (AC)	A adição de 10% de N-ZnO aumentou significativamente a RD do adesivo experimental em comparação ao adesivo contendo 0% N-ZnO ($P < 0,05$). Os ACs na dentina foram significativamente maiores com a adição de 2% N-ZnO ou mais. No	Pode-se concluir que, especialmente considerando a morfologia particular e o nanotamanho do N-ZnO, ele pode ser efetivamente usado como carga no adesivo dentinário. A incorporação de N-ZnO tem o

	poderia evitar a aglomeração de partículas e levar a uma distribuição homogênea de tensões dentro do material e caracterizá-lo.	dimetilaminob enzoato) + Incorporação de nanopartículas de ZnO nas seguintes concentrações :0%, 1%, 2%, 5% e 10%		Cor Grau de conversão (GC) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à flexão (RF) Microdureza de Knoop (MDK) - imediato e 2 horas	esmalte, os valores foram significativamente maiores para o grupo 10%N-ZnO. Todos os grupos apresentaram alteração de cor quando comparado ao 0%N-ZnO. Quanto maior a concentração de N-ZnO, maior a alteração de cor ($P<0,05$). O grau de conversão diminuiu conforme a concentração de N-ZnO aumentou ($P<0,05$), variando de 65% (0%N-ZnO) a 33% (10%N-ZnO). Para RF, não houve diferenças significativas entre os grupos experimentais e o grupo controle ($P>0,05$). Todos os grupos apresentaram redução na MDK após a imersão em etanol, mas não houve diferença entre os grupos para KHN _{imediato} e porcentagem de redução ($P>0,05$).	potencial de promover o fortalecimento do adesivo, o que pode melhorar o desempenho clínico e a longevidade da restauração.
Liang et al. (2018)	Desenvolver um novo método de remineralização que seja eficaz mesmo em uma solução ácida sem íons cálcio (Ca) e fosfato (P) iniciais, e investigar os efeitos da combinação de um adesivo dentinário contendo nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) com poliamidoamina (PAMAM) na remineralização da dentina, neutralização ácida e dureza da dentina	Adesivo dentinário experimental (HEMA, BisGMA, PMGDM, EBPADMA) - PEHB + Incorporação de NACP nas seguintes concentrações : 1. 0% em peso de NACP + 100% em peso de PEHB 2. 10% em peso de NACP + 90% em peso de PEHB; 3. 20% em peso de NACP	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Liberação de íons Ca e P Remineralização (RM) Neutralização ácida (pH) – 1 a 14 dias Dureza (D) – 14 e 28 dias PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC) – 1 dia e 14 dias	Aumentar o nível da carga NACP no adesivo de 0 para 40% em peso não afetou negativamente a RUC ($p>0,1$). O envelhecimento em água por 14 dias não afetou a RUC em comparação com 1 dia. Os grupos PAMAM e controle tiveram concentrações de Ca e P próximas de 0. NACP e PAMAM+NACP tiveram liberação de íons do adesivo NACP, sendo que ambos os grupos apresentaram em 14 dias concentrações de íons muito maiores do que PAMAM e controle, indicando liberação contínua do adesivo NACP. Para os grupos PAMAM e controle, o pH permaneceu em quase 4. Em contraste, para os grupos NACP e PAMAM+NACP, em 1d, o pH foi aumentado para 6,1 em 15min, 6,5 em 60 min, 6,9 em 3h e 6,9 em 24h. Em 14d, o pH atingiu 5,5 em 15min e 6,5 em 3h. Esses valores de pH foram muito maiores do que aqueles sem o adesivo NACP. Em relação ao tempo que levou para aumentar o pH para acima de 5,5 no ácido láctico com um pH	Em conclusão, a remineralização da dentina via adesivo PAMAM+NACP em pH4 e sem CaP foi alcançada pela primeira vez, quando métodos convencionais de remineralização como PAMAM ou NACP não funcionaram. O novo método PAMAM+NACP é promissor para aumentar a longevidade da união dente-compósito, inibir cáries, remineralizar lesões e proteger estruturas dentárias, mesmo para pacientes com boca seca e ambiente oral ácido.

		+ 80% em peso de PEHB; 4. 30% em peso de NACP + 70% em peso de PEHB; 5. 40% em peso de NACP + 60% em peso de PEHB. Prime & Bond NT (Dentsply, Milford, DE) e Scotchbond Multi-Purpose (SBMP, 3 M, St. Paul, MN) - controle			inicial de 4, nos grupos NACP e PAMAM+NACP, o adesivo NACP aumentou rapidamente o pH de um pH cariogênico 4 para um pH seguro de $\geq 5,5$. Em contraste, PAMAM e controle falharam em aumentar o pH, que permaneceu próximo de 4. Os grupos PAMAM e controle não apresentaram picos de Ca e P, o que indicou que a superfície de dentina estava completamente desmineralizada. Picos moderados de Ca e P apareceram no grupo NACP. O grupo PAMAM+NACP apresentou os picos mais fortes de Ca e P ($p < 0,05$), o que demonstrou que PAMAM+NACP atingiu a maior remineralização da dentina. A dureza da dentina hígida foi de 0,55GPa. Após o condicionamento ácido, a dureza diminuiu para 0,31GPa. Após imersão em ácido láctico por vários períodos, para os grupos PAMAM e controle, a dureza da dentina diminuiu para 0,15GPa em 14d e 0,05GPa em 28d. PAMAM+NACP aumentou a dureza da dentina para 0,47GPa em 14d e 0,56GPa em 28d, o que se aproximou da dentina hígida ($p > 0,1$).	
Lima et al. (2024)	Sintetizar e caracterizar um novo adesivo dentinário contendo nanopartículas de Beta-Fosfato Tricálcico (β -TCP) e testar sua capacidade de reduzir a permeabilidade da dentina (dP).	Adesivo experimental (Bis-GMA, TEGDMA, HEMA, canforoquinon a e 2-(dimetilamino) etil metacrilato) + Incorporação de β-TCP nas concentrações de 0%, 10% e 15% (em peso) * AdperTM ScotchbondTM	Nanopartículas de Beta-Fosfato Tricálcico (β -TCP)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Dureza (D) Permeabilidade da dentina (dP) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à flexão (RF)	Para o GC, houve diferença estatisticamente significativa para os fatores "tratamento – adesivos" ($p < 0,001$), "tempo de exposição da fotopolimerização (10 e 20 segundos)" ($p < 0,001$) e para a interação "tratamento e tempo de exposição" ($p < 0,001$). Para todos os grupos, a fotopolimerização por 20 s apresentou GC% maior que 10 s e, por esse motivo, 20 s foi utilizado nas etapas seguintes do estudo. Ao comparar os grupos fotopolimerizados por 20 s, o grupo CFPB apresentou GC% maior que todos os outros grupos ($p < 0,001$). Entretanto, esses grupos SBMP; Adesivo experimental sem β-TCP; com 10% em peso de β-TCP e com 15% em peso de β-TCP não diferiram entre si ($p > 0,050$). O grupo Adper TM ScotchbondTM Multi-Purpose Adhesive (SBMP) apresentou a maior RF do em relação ao adesivo experimental com 15% em peso de β-TCP ($p = 0,009$).	O adesivo dentinário sintetizado com 10% e 15% em peso de nanopartículas de β-TCP reduziu a permeabilidade da dentina, resistindo aos desafios erosivos/abrasivos, quando os demais tratamentos avaliados falharam. A incorporação de 10% em peso de nanopartículas de β-TCP no adesivo dentinário não afetou suas propriedades mecânicas e biocompatibilidade. No entanto, quando a concentração de cargas aumentou (15% em peso de β-TCP), propriedades mecânicas mais baixas foram observadas em comparação aos adesivos comerciais e a viabilidade das células da polpa dentária foi afetada.

		MultiPurpose (SBMP, 3M ESPE) * Clearfil™ SE Protect Bond, (CFPB, Kuraray Dental)			Ambos os adesivos comerciais, SBMP e CFPB, apresentaram D mais alto do que todos os grupos dos adesivos experimentais (Exp. sem β-TCP, Exp.10% em peso β-TCP e, Exp.15% em peso β-TCP). No baseline (T0), não houve diferenças significativas entre os grupos quanto à permeabilidade dentinária ($p = 1$). A análise estatística mostrou que houve diferença significativa para os fatores: adesivo experimental ($p < 0,001$), tempo (após o tratamento-Lp₁ e após o ciclo de erosão/abrasão Lp₂) ($p < 0,001$) e para a interação adesivo x tempo ($p = 0,002$). Apenas os grupos Experimental 10% β-TCP e 15%β-TCP não apresentaram diferença significativa entre os tempos pós-tratamento (T1) e pós-ciclo (T2), $p = 0,117$ e $p = 0,558$ respectivamente. Após a aplicação do tratamento, o grupo controle negativo (água destilada) apresentou a maior permeabilidade em relação a todos os grupos experimentais, exceto o grupo experimental contendo 15% β-TCP ($p = 0,052$). Após o ciclo de erosão/abrasão, o grupo controle negativo apresentou a maior permeabilidade em relação aos grupos experimentais. O grupo experimental sem as nanopartículas apresentou a maior permeabilidade em relação ao grupo experimental contendo 10% de β-TCP ($p < 0,001$). O Grupo CFPB (adesivo comercial com flúor) apresentou a maior permeabilidade em relação ao grupo experimental contendo 10% β-TCP ($p = 0,045$).	
López-Ruiz et al. (2022)	Desenvolver adesivos dentinários com diferentes concentrações de nanopartículas de sílica mesoporosa (MSNs) carregadas com L-arginina (MSNs@ Arg)	Adesivo experimental (BisGMA, HEMA, canforoquinona e etil 4-dimetilaminobenzoato) + Incorporação de MSNs@Arg nas seguintes	Nanopartículas de sílica mesoporosa (MSNs) carregadas com L-arginina (MSNs@ Arg)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à Tração Máxima (RTM) Resistência à flexão (RF) e Resistência de união à microtração (RUM) – 24h	Em geral, os valores obtidos para RTM, RF, E, D e GC com os adesivos dentinários experimentais contendo MSN@Arg (0,5% MSNs@Arg, 1% MSNs@Arg e 2% MSNs@Arg) foram maiores ou próximos dos adesivos SB1XT e SBUP. Já ao comparar os valores obtidos entre os grupos, os resultados de RTM, RF, E, D e GC não foram semelhantes, e diferenças estatisticamente significativas foram detectadas entre eles ($p < 0,001$).	A inclusão de MSNs@Arg a 0,5% em peso, 1% em peso e 2% em peso em um adesivo dentinário experimental não afetou suas propriedades físico-mecânicas e de união, sendo capaz de administrar L-arginina de forma sustentada com uma atividade antibacteriana a longo prazo suficiente para inibir seletivamente o crescimento de bactérias cariogênicas, como <i>S. mutans</i> e <i>L.</i>

		concentrações :0%, 0,5%, 1% e 2% *Scotchbond 1XT (SB1XT, 3M Oral Care, Seefeld, Germany) *Scotchbond Universal Plus (SBUP, 3M Oral Care) - controle		PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Dureza (D) Módulo de elasticidade (E) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans, Streptococcus gordonii e Lactobacillus casei)	Os maiores valores de RTM foi observado no SBUP sem diferenças significativas em relação aos 2% de MSNs@Arg incorporados no material adesivo. Os menores valores de RTF foram obtidos para o SB1XT. Em relação aos resultados de RF, os adesivos experimentais sem carga apresentaram valores significativamente maiores do que o os demais adesivos testados, seguidos pelos adesivos 0,5% MSN@Arg e 1% MSN@Arg, e 2% MSN@Arg Os maiores valores de DH foram registrados pelo adesivo experimental sem carga e pelo adesivo com 2% MSNs@Arg. Dureza intermediária e similar foi obtida pelos outros dois adesivos experimentais contendo 0,5% e 1% MSNs@Arg. Os resultados do GC revelaram que os quatro adesivos experimentais obtiveram percentuais de DC semelhantes, sendo que o do adesivo contendo 0,5% MSNs@Arg foi estatisticamente maior do que os valores registrados para ambos os adesivos comerciais. No presente estudo, os maiores valores de RUM foram determinados quando a resina composta foi aplicada com um dos adesivos comerciais, SB1XT ou SBUP. Valores menores e semelhantes foram produzidos pelos adesivos experimentais sem MSNs@Arg ou em uma concentração de 0,5% e 1%. Os menores resultados foram determinados para o adesivo experimental de 2% MSNs@Arg, sem diferenças significativas do adesivo experimental sem carga e do adesivo com 1% MSNs@Arg De acordo com os resultados de liberação de L-arginina pelas MSNs, a matriz adesiva polimérica não só permite a liberação da N-oleil-L-arginina DSDA, mas também retarda significativamente sua liberação, o que prolonga significativamente a atividade antibacteriana fornecida pela L-arginina ao longo do tempo.	casei., e, portanto, prevenir a formação de biofilme sobre a superfície do adesivo.
--	--	--	--	---	--	--

					Os resultados de atividade bacteriana mostraram que em 1h, não houve diferenças significativas entre os grupos, <i>S. mutans</i> ($p=0,603$), <i>S. gordonii</i> ($p=0,326$) e <i>L. casei</i> ($p=0,438$). Após 7 dias, a maior redução percentual de unidades de luz relativas (RLUs) foi obtida com o adesivo 2% MSN@Arg. A tendência em todos os casos foi de aumento da atividade antimicrobiana à medida que aumenta a concentração de nanopartículas, embora deva ser notado que não houve diferenças significativas entre os grupos experimentais para <i>S. gordonii</i> , nem para o adesivo dentinário sem carga e a versão 0,5% MSN@Arg. para <i>S. mutans</i> . No entanto, houve diferenças significativas para todos os grupos com MSNs@Arg. em comparação com o adesivo dentinário sem carga para <i>L. casei</i> .	
Maryoosh e Al-Shamma (2020a)	Investigar os efeitos da incorporação de 2% de nanopartículas de grafeno fluorado (GNF) na resistência de união ao cisalhamento de dois tipos de adesivos universais disponíveis comercialmente usando a técnica de condicione-e-lave como procedimento adesivo.	All-Bond Universal (Biscolnc, USA) Prime&Bond Universal (Dentsply, Tusla dental specialties,US A) + Incorporação de nanopartículas de GNF na concentração de 2%, em peso.	Nanopartículas de grafeno fluorado (GNF)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC)	Os valores médio máximo e mínimo de SBS foram observados nos grupos Grupo II (Prime&Bond Universal + 2% de grafeno fluorado) e Grupo III (All Bond Universal sem carga), respectivamente. Foi observado uma diferença altamente significativa no valor médio de SBS do grupo II (All Bond Universal+2% de grafeno fluorado) em comparação com o grupo I (All Bond Universal sem carga) ($p<0.01$). Além disso, foi mostrado que há uma diferença altamente significativa no valor médio de SBS do grupo IV (Prime&Bond+2% de grafeno fluorado) em comparação com o grupo III (Prime& Bond Universal sem carga) ($p<0.01$). Dessa maneira, maior resistência de união ao cisalhamento foi observada com adesivos contendo 2% de FGN em comparação aos demais adesivos ($P<0,01$).	Concluindo, os resultados mostram que a incorporação de 2% de nanopartículas de grafeno fluorado melhorou significativamente a resistência de união ao cisalhamento à dentina de ambos os adesivos..
Maryoosh e Al-Shamma (2020b)	Investigar os efeitos da incorporação de 2% de grafeno fluorado na camada híbrida de dentina-resina para dois tipos de adesivos	All-Bond Universal (Biscolnc, USA) Prime&Bond Universal (Dentsply, Tusla dental	Nanopartículas de grafeno fluorado (GNF)	PROPRIEDADE FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS:	Os resultados mostraram que não houve diferença significativa ($P>0,05$) no GC do All Bond Universal incorporado com 2% de grafeno fluorado (Grupo II) em comparação com o All Bond Universal sem carga (Grupo I). Os valores de GC foram, $85,9200\pm0,27479$ vs. $86,2600\pm0,27536$, respectivamente. Da mesma forma, não houve diferença significativa ($P>0,05$) no GC do Prime& Bond Universal incorporado	O efeito antibacteriano dos adesivos que incorporaram 2% de nanopartículas de grafeno fluorado (GNF) foi maior do que os adesivos dentinários condiciona-e-lava sem carga. Além disso, o GNF também melhorou o GC dos diferentes adesivos testados.

	universais disponíveis comercialmente, usando a estratégia condiciona-e-lava como procedimento adesivo	specialties,US A) + Incorporação de nanopartículas de GNF tratadas com 3-Metacriloxipropiltrimetilsilano (MPS) na concentração de 2%, em peso.		Atividade antibacteriana (Streptococcus mutans e Lactobacillus salivarius)	com 2% de grafeno fluorado (Grupo IV) em comparação com o Prime&Bond Universal sem carga (Grupo III). OS valores de GC foram, 74,880 ± 0,21124 vs. 75,9200 ± 0,18547, respectivamente. Os resultados deste estudo mostraram que o Grupo IV (All Bond Universal+2% de grafeno fluorado) exibiu alta porcentagem de redução dos microrganismos Streptococcus Mutans entre os grupos adesivos testados. Além disso, foi observado uma diferença altamente significativa no valor médio do diâmetro da zona de inibição do grupo II (All Bond universal incorporado + 2% de grafeno fluorado) em comparação com o grupo I (All Bond sem carga) ($p < 0,01$) e também entre o grupo IV (Prime&Bond universal incorporado + 2% de grafeno fluorado) e o grupo III (Prime&Bond universal sem carga) ($p < 0,01$).	
Mazloom-Jalali et al. (2019)	Caracterizar nanopartículas de sílica modificadas duplamente e avaliar os efeitos de sua incorporação em um sistema adesivo experimental de frasco único como carga de reforço	Adesivo experimental (BisGMA, HEMA, acetona, etanol, TMPTMA, DMAEMA e canforquinoc a) + Incorporação de nanopartículas de sílica pirogênica silanizada enxertada com poli(ácido acrílico) (SiP-PAA) nas seguintes concentrações: 0%, 0,2%, 0,5%, 1%, 2% e 5%.	Nanopartículas de sílica pirogênica silanizada enxertada com poli(ácido acrílico) (SiP-PAA)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência a flexão (RF) Tenacidade à fratura (T) Resistência de união à microtração (RUM) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Módulo de flexão (MF) Grau de conversão (GC)	A RF e a TF do adesivo contendo 0,2% em peso de nanopartículas de (SiP-PAA) atingiram o máximo de 70,4MPa e 1,34MPa m ^{1/2} , respectivamente, apresentando uma melhoria média de 74% e 179%, em comparação ao adesivo sem carga. Os valores de MF não mudaram significativamente com o aumento do teor da carga, exceto o adesivo contendo 5% em peso, o qual teve o menor MF. O maior valor de RUM foi observada nos adesivos contendo 0,2% em peso de teor de carga, mostrando uma melhoria média de 197% em relação ao adesivo sem carga. O GC para os adesivos contendo 0%, 0,2% e 5% em peso de SiP-PAA variou entre 58–63%, indicando que não há diferença significativa entre o GC dos adesivos com várias concentrações de cargas ($p < 0,05$).	A incorporação de 0,2% em peso de PAA-g-BF em um adesivo dentinário experimental de um frasco levou a uma melhoria substancial nas suas propriedades mecânicas e resistência de união à microtração à dentina.

		OptiBond™ Solo Plus (Kerr, Orange, CA, USA) – usado como controle no teste de resistência a união à microtração				
Meereis et al. (2016)	Avaliar o efeito da incorporação de diferentes concentrações de nanopartículas de sílica funcionalizadas com fosfato (SiO_2 -POOH) na resistência de união à dentina de um adesivo autocondicionante de um passo experimental (SAA-1s)	Adesivo experimental (Bis-GMA, HEMA, TEGDMA, UDMA, canforoquinona, EDAB e DPIHFP). + Incorporação de SiO_2 -POOH nas seguintes concentrações: 0,1%, 0,2%, 0,5%, 1%, 2%, 4%, 6% e 8% em peso *Os adesivos experimentais foram formulados com três concentrações de HEMA-P (0, 20 e 40 %, em massa)	Nanopartículas de sílica funcionalizadas com fosfato (SiO_2 -POOH)	PRORIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao microcisalhamento (RUC) – 24h	Em relação ao SAA-1s sem carga, a adição de 0,1% em peso de nanopartículas de SiO_2 -POOH resultou em um aumento significativo na resistência de união à dentina para a concentração de HEMA-P _{40%} ($p \leq 0,001$). Os adesivos contendo SiO_2 -POOH em maior concentração (0,2, 0,5, 1, 2, 4, 6 e 8% em peso) mostraram uma resistência de união significativamente menor em comparação com o HEMA-P _{40%} / SiO_2 -POOH _{0,1%} e o SAA-1s sem carga. O SAA-1s formulado sem monômero ácido (HEMA-P0%) não apresentou união à dentina, independentemente da concentração de SiO_2 -POOH adicionada.	A incorporação de 0,1% em peso de nanopartículas de SiO_2 -POOH associadas ao monômero ácido ao SAA-1s melhora a eficácia da adesão.
Mi et al. (2022)	Desenvolver e avaliar a eficácia do peptídeo antimicrobiano (cecropina A) revestido com nanopartículas de	Scotchbond™ (St. Paul, MN) + Incorporação de nanopartículas Fe_3O_4 @cecro	Nanopartículas de óxido de ferro (Fe_3O_4)	PRORIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans, Streptococcus	De acordo com a imagem microscópica foi verificado que os túbulos dentinários na superfície da dentina desmineralizada estavam predominantemente abertos. Simultaneamente, os túbulos dentinários do grupo tratado com adesivo contendo Fe_3O_4 @cecropina estavam fechados e ocluídos com vários depósitos	O adesivo universal Scotchbond modificado com nanopartículas de Fe_3O_4 @cecropina mostrou uma remineralização da dentina e resistência de união à dentina melhores em relação ao seu respectivo controle. Como

	óxido de ferro (Fe_3O_4) na remineralização da dentina, na resistência de união e no seu potencial antibiofilme contra <i>Streptococcus mutans</i> , associado à cárie dentária .	pina na concentração de 20% (em peso)		sobrinus, <i>Streptococcus sanguinis</i> e <i>Streptococcus mitis</i>) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC) – 24 horas PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Remineralização (RD)	minerais, mostrando o processo de remineralização da dentina após a polimerização de tal adesivo. O aumento no desenvolvimento de minerais de apatita na superfície da dentina desmineralizada foi observado na amostra tratada com adesivo contendo Fe_3O_4@cecropina, que exibiu um alto nível de remineralização. A eficácia da remineralização no grupo tratado com adesivo Scotchbond contendo Fe_3O_4@cecropina foi maior em relação ao grupo tratado com adesivo Scotchbond sem carga. Além disso, os resultados revelaram que o adesivo Scotchbond contendo Fe_3O_4@cecropina apresentou RUC de $36,33 \pm 1,8$ MPa, que é superior à do adesivo Scotchbond sem carga ($18,12 \pm 0,8$ MPa). Essa descoberta revelou um aumento considerável nos valores de RUC dos adesivos contendo Fe_3O_4@cecropina quando comparados ao controle, demonstrando o efeito da remineralização do adesivo contendo Fe_3O_4@cecropina. Em relação a avaliação da atividade antibacteriana, os resultados revelaram que os biofilmes de <i>S. mutans</i> tratados com adesivos contendo Fe_3O_4@cecropina apresentaram contagem de unidades formadoras de colônias (UFC) e produção de ácido láctico reduzidas em relação aos outros tratamentos, mesmo após 7 dias. Adicionalmente, o adesivo contendo Fe_3O_4@cecropina mostrou uma excelente inibição de biofilme contra <i>S. sobrinus</i>, <i>S. sanguinis</i> e <i>S. mitis</i> uma vez que as dentinas tratadas com adesivo contendo Fe_3O_4@cecropina tinham biofilmes reduzidos, o que comprovou a eficácia antibiofilme contra tais microorganismos	esperado, o adesivo contendo Fe_3O_4@cecropina impediu efetivamente a formação de biofilme de <i>S. mutans</i> na superfície da dentina com contagem reduzida de UFC, produção de ácido láctico e atividade metabólica do biofilme. Além disso, este adesivo teve um potente comportamento antibiofilme em relação a outros patógenos bacterianos associados à cárie, incluindo <i>S. sobrinus</i>, <i>S. sanguinis</i> e <i>S. mitis</i>. Em conclusão, apresentamos um método exclusivo para melhorar a resistência de união à dentina por remineralização usando um adesivo contendo Fe_3O_4@cecropina.
Mohammed e Riad (2019)	Investigar a concentração inibitória mínima (CIM) de nanopartículas de prata (Ag) antimicrobianas	Universal Bond (3M ESPE, St. Paul MN, USA) + Incorporação de	Nanopartículas de prata	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC)	Todas as concentrações apresentaram o diâmetro da zona de inibição significativamente maior quando comparado ao grupo controle ($P \leq 0,05$), exceto a concentração $6,25 \mu\text{g/ml}$. A CIM do adesivo contendo nanopartícula (pó e solução) foi determinado na concentração de $12,5 \mu\text{g/ml}$. Todas as concentrações de pó de	A eficácia antibacteriana do sistema adesivo pode ser grandemente potencializada com a adição de nanopartículas de prata (concentração de $12 \mu\text{g/ml}$), especialmente o pó de nanopartícula. A incorporação

	incorporadas em duas formas no sistema adesivo autocondicionante e o efeito de sua incorporação no grau de conversão do adesivo autocondicionante	nanopartículas de Ag: 100 µgm/ml, 50 µgm/ml, 25 µgm/ml, 12,5 µgm/ml, 6,25 µgm/ml e 0 µgm/ml		PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (<i>Streptococcus mutans</i>) *Avaliados na forma de pó e solução de nanoprata (baseada em etanol)	nanoprata registraram valores médios de diâmetro da zona de inibição significativamente maiores quando comparadas às diferentes concentrações de solução de nanoprata. Os grupos do sistema adesivo com solução de nanoprata incorporada ($26,14 \pm 4,47\%$) apresentaram GC estatisticamente menor quando comparado ao controle ($50,31 \pm 4,04\%$) e ao pó de nanoprata ($47,72 \pm 4,47\%$) ($P \leq 0,001$). Não houve diferença significativa no GC entre o grupo controle e o grupo do sistema adesivo contendo pó de nanoprata ($p \geq 0,05$).	do pó de nanoprata antibacteriano no sistema adesivo não comprometeu o grau de conversão do adesivo dentinário.
Moqueem et al. (2024)	Sintetizar e caracterizar uma plataforma magnética multifuncional, que compreende micropartículas de óxido de ferro (Fe_3O_4) e clorexidina (CHX) encapsuladas em sílica mesoporosa (SiO_2), a qual foi silanizada por um silano de amônio quaternário antibacteriano (SiQuac) ($\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$). Esta plataforma tem como alvo simultâneo a inibição bacteriana, a estabilidade da camada híbrida e a infiltração da carga aprimorada e movimento magnético.	Adesivo experimental (BisGMA, HEMA, canforoquinona, 4-dimetilaminobenzoato de etila e BHT) + Incorporação de ($\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$) nas seguintes concentrações: 0% (controle), 2%, 3%, 4% e 5%	Nanopartículas de óxido de ferro (Fe_3O_4) e clorexidina (CHX) encapsuladas em sílica mesoporosa (SiO_2) silanizada por um silano de amônio quaternário antibacteriano (SiQuac) ($\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência máxima à tração (RMT) Resistência de união por microcissalhamento (RUM_c) – 24h Resistência de união à microtração (RUM) – imediato e sob campo magnético em um modelo simulado de pressão pulpar (envelhecimento artificial) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Ângulo de contato (AC) Grau de conversão (GC) Sorção de água (SOR) solubilidade (SL)	Em relação ao GC, a incorporação de partículas ($\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$) no adesivo dentinário em concentrações de até 4% em peso não apresentaram diferença estatisticamente significativa no GC quando comparado ao controle ($p < 0,05$). Entretanto, a incorporação de $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$ a 5% em peso resultou em uma diminuição estatisticamente significativa em DC% ($p > 0,05$). Na mensuração do AC foi observado que quanto maior a concentração de partículas, maior AC. O ângulo de contato de todos os grupos foi menor que 90°, o que indica que todas as amostras são hidrofílicas. Para SOR e SL, diferenças significativas foram observadas entre os grupos ($p < 0,05$). Especificamente, SOR exibiu um aumento de 37,2% com um aumento na concentração de nanopartículas em relação ao controle. Enquanto isso, SL foi 29,7% maior no grupo de 5% quando comparado ao controle. Os grupos de 2% e 3% apresentaram SL significativamente menor em relação ao controle ($p < 0,05$). Os valores de RMT apresentaram uma correlação positiva com a concentração do componente ativo, variando de $44,6 (\pm 2,3)$ MPa no grupo de 2% a $56,9 (\pm 2,3)$ MPa no grupo de	Os resultados obtidos demonstram a eficácia da plataforma $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$ desenvolvida uma vez que ao ser incorporada em um adesivo dentinário experimental pôde melhorar o desempenho físico-químico, mecânico e de união desses adesivos. Além disso, a incorporação de $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$ biológicas aos adesivos que podem aumentar a longevidade da união, minimizando a degradação da camada híbrida.

				PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans)	5%, sendo esse aumento estatisticamente significativo ($p < 0,05$). A incorporação de $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$ no adesivo dentinário aumentou significativamente os valores de RUM_c em pelo menos 11% em comparação ao grupo controle ($p < 0,05$). No entanto, a formulação adesiva com as maiores concentrações de $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$ a exibiu valores de $\mu\text{-SBS}$ mais baixos do que as demais concentrações ($p < 0,05$). Após o envelhecimento artificial, a RUM diminuiu em 665 e 50% para os grupos de 4% e 5%, respectivamente, em comparação com os valores imediatos (baseline), A análise das unidades formadoras de colônia revelou reduções mais significativas foram observadas em adesivos formulados com $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$ a 4 e 5% em peso, com reduções de cerca de 3 e 6 log na contagem bacteriana. Já a análise da coloração bacteriana viva/morta, foi observado que o adesivo controle mostrou uma camada densa de bactérias predominantemente vivas. Em contraste, adesivos com 2 a 4% em peso de $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$ aumentaram significativamente as bactérias comprometidas (mortas). Em 5% em peso de $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$, a maioria das bactérias foi comprometida. Após o envelhecimento artificial, as propriedades antibacterianas foram mantidas, com uma redução bacteriana mais pronunciada observada para adesivos a 5% em peso de $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{CHX}@ \text{SiO}_2@ \text{SiQuac}$. A atividade metabólica seguiu uma tendência semelhante e diminuiu em aproximadamente 50% após o envelhecimento com imagens vivas/mortas mostrando mais bactérias comprometidas do que no grupo controle.	
--	--	--	--	---	--	--

Moustafa et al. (2024)	Avaliar o efeito de nanopartículas de quitosana (NpsQ) preparadas e carregadas com extrato de semente de uva (ESU) na eficiência antibacteriana contra Streptococcus mutans de adesivos dentinários contendo essas nanopartículas.	G-Premio Bond (adesivo autocondicionante) + Incorporação de: 6 mg de SEU ou 12 mg de NpsQ com ESU ou 12 mg de NpsQ	Nanopartículas de quitosana (NpsQ) carregadas com extrato de semente de uva (ESU)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus mutans)	Nenhuma turbidez foi observada na concentração de 12,5% da solução de ESU, que é equivalente a 6 mg/ml; portanto, isso foi considerado como o CIM de ES. Além disso, nenhuma turbidez foi observada na concentração de 12,5% de NpsQ, que é equivalente a 12 mg/ml, e na concentração de 12,5% de NpsQ, com soluções de ESU, que é equivalente a 12 mg/ml; portanto, isso foi considerado como o CIM de NpsQ e NpsQ com SEU, respectivamente. O crescimento bacteriano foi observado no grupo de controle. Os resultados revelaram que a adição de NpsQ com ESU ao adesivo resultou em uma diminuição estatisticamente significativa na densidade óptica em comparação com outros grupos em diferentes intervalos de tempo. Além disso, o adesivo contendo NpsQ carregado com ESU mostrou inibição constante e contínua do crescimento bacteriano ao longo de diferentes períodos de investigação, com a maior inibição do crescimento bacteriano registrada em 72 h (P 0,001). Não há diferenças significativas entre os grupos experimentais	Dentro das limitações do presente estudo, a incorporação de NpsQ carregados com ESU é uma abordagem promissora para aumentar a atividade antibacteriana do adesivo dentinário testado.
Neves et al., (2021)	Sintetizar e caracterizar um primer experimental contendo nanopartículas lipídicas catiônicas revestidas com quitosana (NPL – quitosana) e avaliar suas propriedades.	Primer experimental (não foi especificado a composição na metodologia) + Incorporação de NPL-quitosana nas seguintes concentrações: 0,4%, 0,6% e 2%, em peso e Clorexidina na concentração de 2%, em peso	Nanopartículas lipídicas catiônicas revestidas com quitosana (NPL-quitosana)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antimicrobiana (Streptococcus mutans) Inibição das metaloproteinases (MMPs) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24h	Para a análise da atividade antimicrobiana, observou-se que a concentração inibitória mínima de NPL-quitosana foi de 0,4% (0,00) (0,01 mg/mL) e CBM de 0,67% ($\pm$ 0,2) (0,02 mg/mL) para células planctônicas de S. mutans. Assim, foram preparados primers experimentais com 0,4% e 0,6% de NPL-quitosana. Para comparação com 2%, CHX também foi preparado um primer com 2% de NPL-quitosana. Em relação aos valores de RUM, não houve diferença significativa entre os grupos (p = 0,9054). O primer experimental contendo 2% de NPL-quitosana apresentou maior inibição da atividade das MMPs em relação ao grupo controle e aos demais grupos NPL-quitosana (p < 0,05). Não houve diferença entre o grupo 2% de NPL-quitosana em relação ao grupo 2% clorexidina (p > 0,05).	Concluímos que o primer experimental contendo NPL-quitosana possui atividade antimicrobiana, não altera a resistência adesiva e inibe as MMPs presentes na dentina. Então, a adição de nanopartículas catiônicas revestidas com quitosana é uma estratégia promissora para melhorar os procedimentos adesivos

		*Primer do sistema adesivo comercial Adper Single Bond Plus (3M ESPE, St.Paul, MN, USA) foi usado como controle				
Oltramari et al. (2021)	Investigar os efeitos a curto e longo prazo de adesivos dentinários contendo vidro bioativo nanométrico 45S5 (VB) na resistência de união da interface dentina-resina.	Adper Scotchbond Multi-Purpose Adhesive (3M, St. Paul, MN, USA) - ASB Solobond Plus (VOCO GmbH, Cuxhaven, Germany) - SB Clearfil SE Bond (Kuraray Noritake Dental Inc., Osaka, Japan) - CF) + Incorporação de nanopartículas VB nas seguintes concentrações : 0%, 5%, 10% e 20%, em peso	Nanopartículas de vidro bioativo 45S5 (VB)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24h e 6 meses	Para os adesivos condiciona-e-lave (ASB e SB), nenhuma diferença significativa em RUM foi observada após 24h entre o grupo controle e os grupos modificados com 5–10% em peso de BAG. Além disso, após 6 meses de armazenamento, ASB com 5 e 10% em peso de nanopartículas VB (ASB-5 e ASB-10) e SB com 5% em peso de nanopartículas VB (SB-5) não revelaram diferenças significativas em μTBS em comparação com seus respectivos grupos controle. Após 24 h e 6 meses, ambos os adesivos condiciona-e-lave modificados com 20% em peso de BAG (ASB-20 e SB-20) mostraram valores de RUM significativamente menores em comparação com os grupos controle. O SB modificado com 5–10% em peso de nanopartículas VB (SB-5 e SB-10) apresentou uma redução significativa em μTBS após 6 meses, o que não foi observado quando SB foi modificado com 20% em peso de nanopartículas VB (SB-20). Em contraste, para ASB modificado com 5 e 20% em peso de nanopartículas VB (ASB-5 e ASB-20), a resistência de união aumentou significativamente após os 6 meses de armazenamento em comparação com os resultados obtidos após 24 h. O CF apresentou uma diminuição significativa em RUM em relação ao grupo controle para todas as concentrações de nanopartículas VB (5–20% em	Dentro das limitações deste estudo, pode-se concluir: - Os sistemas adesivos condiciona-e-lave podem ser funcionalizados com 5% em peso (Solobond Plus) ou até 10% em peso (Adper Scotchbond Multi-Purpose) de vidro bioativo nanométrico sem efeito negativo na resistência de união à dentina. - Embora a incorporação de vidro bioativo ao adesivo autocondicionante (Clearfil SE Bond) tenha diminuído significativamente seu desempenho para todas as concentrações, um efeito benéfico foi identificado em termos de manutenção da resistência de união à dentina estável ao longo do período de envelhecimento de 6 meses. A capacidade de manter a resistência de união quando funcionalizados com vidro bioativo nanométrico e o potencial de uma maior longevidade da interface adesiva, tornam os sistemas adesivos modificados por vidro bioativo uma opção promissora para investigações futuras.

					peso) após 24 h e 6 meses. O valor de RUM do CF modificado com 5–20% em peso de nanopartículas VB (CF-5, CF-10 e CF-20) permaneceu inalterado pelo envelhecimento	
Palasuk et al. (2018)	Avaliar o potencial da carga do fármaco, a cinética de liberação e a inibição da metaloproteinase de matriz (MMP) da doxíciclina (DOX) liberada de adesivos modificados por nanotubos carregados com DOX.	Adper Scotchbond Multi-Purpose (SBMP, 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) + Incorporação de nanotubos de argila aluminossilicat o Halloysite® (HNT) carregados com doxíciclina (DOX) nas seguintes concentrações : 0% (controle), 10%, 20% e 30%, em peso	Nanotubos de argila aluminossilicato Halloysite® (HNT) carregados com doxíciclina (DOX)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) Microdureza (MD) Cinética de liberação de DOX PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antimicrobiana (Streptococcus mutans e Lactobacillus casei) Inibição de metaloproteinases (MMPs)	As análises estatísticas revelaram, em geral, que o aumento na concentração de DOX aumenta significativamente a quantidade de DOX que foi carregada nos HNTs. Enquanto isso, o aumento na concentração de DOX diminui significativamente a eficiência da carga. O aumento nos tempos da polimerização levou a um aumento no GC: 61,40–64,68% (10s), 64,15–68,65% (20s) e 70,44–73,26% (40s). Não foram encontradas diferenças significativas entre cada tempo de polimerização e o os adesivos modificados e o controle (SBMP, $p > 0,05$). Em relação aos valores de MD, não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os adesivos modificados com nanotubos (com ou sem DOX) quando comparados ao controle (SBMP). Uma liberação imediata foi observada no dia 1 e seguida por uma diminuição gradual ao longo do tempo. A liberação cumulativa de DOX (média±EP) do adesivo ao longo de 28 dias foi de $4,04 \pm 0,05 \mu\text{g}$ (10% DOX), $4,79 \pm 0,07 \mu\text{g}$ (20% DOX) e $8,21 \pm 0,088 \mu\text{g}$ (30% DOX). Não foram encontradas diferenças significativas na liberação cumulativa de DOX entre os grupos ($p=0,259$). Os resultados das zonas de inibição para <i>S. mutans</i> e <i>L. casei</i> foram significativas entre os três grupos, exceto para a zona de inibição de <i>L. casei</i>, que estava entre 10%DOX e 20%DOX. Dessa maneira, a DOX liberada pelos adesivos modificados não inibiu o crescimento de bactérias relacionadas à cárie. Os resultados da atividade anti-MMP demonstrou inibição significativa de MMP-1 por eluatos contendo DOX. Os eluatos do dia 1 apresentaram, a maior inibição de MMP-1	O presente estudo demonstrou que o carregamento de DOX nos adesivos modificados com nanotubos não comprometeu as propriedades físico-químicas dos adesivos e os níveis liberados de DOX foram capazes de inibir a atividade da MMP sem citotoxicidade.

					[16,20± 8,09% (10% DOX), 23,61 ± 3,33% (20% DOX) e 26,33 ± 5,01% (30% DOX)], seguido por uma diminuição gradual ao longo do tempo. Nenhuma diferença significativa na inibição de MMP-1 foi encontrada entre os grupos de 10%, 20% e 30% DOX (p>0,05)	
Pupo et al. (2019)	Obter e avaliar hidroxiapatitas (HAp) como nanopartículas e nanorods para uso em adesivos autocondicionantes e investigar o efeito da co-inclusão de um polímero de metacrilato de amônio quaternário multifuncional (QAMP) na resistência de união, citotoxicidade e morfologia celular dos adesivos dentinários.	Primer do sistema adesivo Clearfil™ SE Bond + Incorporação de HAp e QAMP nas seguintes concentrações :5% HApP24(nano partícula); 5% HApP36 (nanopartícula); 5% HApR14(nano rod); 5% QAMP; 5% HApR14 + 5%QAMP * Clearfil™ Protect Bond e Clearfil™ SE Bond foram usados como controle	Nanopartícula de hidroxiapatita (Hap)	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Morfologia celular PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24 horas, 6 meses e 12 meses	Uma redução significativa de RUM foi alcançada para Clearfil™ SE Bond + HApP24 (p=0,031) e Clearfil™ SE Bond + HApP36 (p=0,008) quando imediato (IM) e 12 meses (12 M) foram comparados. Nenhuma diferença estatística (p>0,05) foi verificada quando os resultados de 6 meses (6 M) e 12 M de RUM foram comparados para Clearfil™ SE Bond + HApR14. Clearfil™ SE Bond + QAMP, Clearfil™ SE Bond + HApR14 + QAMP e Clearfil™ SE Bond não apresentaram diferença significativa comparando os períodos de armazenamento. Para Clearfil™ SE Bond +HApP24 e Clearfil™ SE Bond+HApP36, uma menor quantidade de células 3T3 foram agregadas ao substrato, e aquelas que foram tinham uma pequena morfologia redonda, membranas rompidas e poucas ou nenhuma projeção citoplasmática, que são características da apoptose. Após a exposição ao Clearfil™ SE Bond+HApR1, células 3T3 com morfologia regular e projeções citoplasmáticas aderindo à superfície do vidro foram observadas. Clearfil™ SE Bond +QAMP, Clearfil™ SE Bond+HApR14 e QAMP, Clearfil™ Protect Bond e Clearfil™ SE Bond, apresentaram características intermediárias e tinham células alongadas e arredondadas	Dentro das limitações do estudo, pode-se concluir que a nanopartículas de Hap em forma de nanorod associada ou não ao QAMP pode ser útil como carga alternativa para adesivos dentinários a fim de proporcionar maior efeito remineralizante na dentina cariada e propriedades antimicrobianas ao mesmo tempo em que pode garantir a estabilidade da interface dentina-resina e biocompatibilidade.
Rao et al. (2023)	Avaliar a remineralização e seu efeito na resistência de união à microtração da dentina afetada por cárie induzida artificialmente (CAD) quando	Prime & Bond universal (Dentsply Sirona) + Incorporação de MSNs-VB nas seguintes concentrações 0,2%, 0,5%,	Nanopartículas mesoporosas de vidro bioativo (MSNs-VB)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Viscosidade (V) Grau de conversão (GC) Estabilidade coloidal (EC) Remineralização (RM)	Os dados obtidos para a V e GC foram estatisticamente significativos entre os grupos controle e experimental (p<0,05). A V do grupo controle foi de 6,40 ± 0,31 mm ² que estava intimamente relacionada a 0,2-A-PMBG (5,56 ± 0,38) (p<0,05). A porcentagem de peso da nanopartícula incorporada é inversamente proporcional à viscosidade do adesivo dentinário. O GC para o controle (23%) foi comparável ao adesivo de 0,2- MSNs-VB (18%). O grau	Neste estudo, as propriedades reológicas do adesivo dentinário não foram significativamente alteradas por 0,2- MSNs-VB e 0,5- MSNs-VB; no entanto, houve efeitos negativos do aumento da porcentagem de peso das nanopartículas. TBs e remineralização aumentaram significativamente em 0,2- MSNs-

	tratada com um adesivo universal comercial modificado com nanopartículas mesoporosas de vidro bioativo (MSNs-VB) carregadas com dendrímero de poli(amidoamina) (PAMAM).	1% e 2% em peso (0,2-A-PMBG, 0,5-A-PMBG, 1-A-PMBG, 2-A-PMBG, respectivamente)		Dureza (D) - 1 mês, 3 meses e 6 meses PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 1 mês, 3 meses e 6 meses	percentual de conversão do adesivo dentinário diminuiu à medida que o peso das nanopartículas adicionadas à resina adesiva aumentou na ordem 2 MSNs-VB < 1-MSNs-VB < 0,5-MSNs-VB ($p < 0,05$). Houve um aumento da sedimentação das partículas com o tempo na solução adesiva. Embora tenha havido sedimentação gradual das nanopartículas vista com 0,2-MSNs-VB, a transmissão durante 12 h não atingiu o máximo. No entanto, a taxa de sedimentação das nanopartículas aumentou dramaticamente após quase 2-3 h para 1-MSNs-VB e 2-MSNs-VB e 6 h para 0,5-MSNs-VB. No intervalo de 6 meses, a RUM para controle, 0,2-MSNs-VB e 0,5-MSNs-VB foram $15,82 \pm 1,91$ MPa, $24,29 \pm 2,90$ MPa e $19,46 \pm 1,62$ MPa, respectivamente. Resultados estatisticamente significativos foram observados no intervalo de 6 meses ($p < 0,05$). A comparação intergrupo mostrou aumento gradual nos valores de RUM para ambos os grupos experimentais (0,2-MSNs-VB: $15,18 \pm 2,11$ MPa, $17,38 \pm 2,15$ MPa e $24,29 \pm 2,90$ MPa; 0,5 MSNs-VB: $12,82 \pm 1,86$ MPa, $14,60 \pm 1,66$ MPa e $19,46 \pm 1,62$ MPa) em intervalos de 1, 3 e 6 meses. A comparação entre grupos revelou aumento constante nos valores de D para os grupos experimentais quando comparados ao controle no final de 6 meses, com 0,5-MSNs-VB apresentando os maiores valores de dureza no final de 6 meses ($p < 0,05$).	VB e 0,5- MSNs-VB. No entanto, quando avaliados ao longo de um período de 6 meses, houve uma redução nos valores RUM e um aumento na remineralização das amostras com o aumento da porcentagem de peso das nanopartículas. Como resultado, dentro das restrições deste estudo, as nanopartículas na concentração adequada demonstraram resultados promissores no aumento de RUM e remineralização em CAD simulado sem modificar as propriedades reológicas do adesivo universal.
Rizk et al. (2023)	Analisar o efeito da infiltração de um adesivo comercial com partículas nanométricas de vidro bioativo (VB) ou silsesquioxanos oligoméricos funcionalizados com metacril (POSS) nas propriedades do	Solobond Plus (VOCO GmbH, Cuxhaven, Alemanha) + Incorporação de VB nas seguintes concentrações :0,1% ou 1%, em peso ou partículas	Nanopartículas de vidro bioativo (VB)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Bioatividade Viscosidade (V) Grau de conversão (GC) Sorção de água (SOR) Fração sol (FS)	O aumento dos precipitados de fosfato de cálcio na superfície foi observado em todos os grupos contendo as partículas POSS e BG-Bi imersos em saliva artificial por 28 dias. Apenas o adesivo puro (sem carga) não mostrou evidências dos precipitados. A maior densidade de cristais foi encontrada no adesivo contendo BG-Bi, a menor para POSS-1. Nenhuma bioatividade foi observada nos espécimes imersos em água. As partículas de VB com carga de 0,1% em peso não alteraram significativamente a V do adesivo, no entanto, na concentração de 1% em peso, a V	Concluindo, este estudo mostrou que as partículas de POSS têm um potencial bioativo semelhante ao vidro bioativo quando incorporadas ao adesivo, mantendo as propriedades mecânicas do sistema favoráveis. O efeito das nanopartículas multifuncionais de POSS no grau de conversão, fração de sol e sorção de água indica uma densidade de reticulação melhorada do adesivo preenchido, mantendo a

	material e na bioatividade	POSS monofuncionais (POSS-1) ou multifuncionais (POSS-8) nas seguintes concentrações 10 ou 20%, em peso			aumentou significativamente. Nenhuma diferença significativa foi encontrada nos adesivos contendo partículas POSS ($p > 0,05$). As partículas POSS-1 levaram a um aumento sistemático, assim como o POSS-8 de 20% em peso, onde a V foi ligeiramente maior do que para o adesivo sem carga. Adicionalmente, nenhum aumento da V foi obtido com carga de 10% em peso das partículas POSS-8. O adesivo sem carga e o adesivo contendo partículas de VB exibiram um GC acima de 50%. As partículas de POSS-1 causaram uma queda robusta no GC ($p < 0,001$). Em ambas as concentrações (10 e 20% em peso), o adesivo permaneceu fluente mesmo após 120s de fotopolimerização. O POSS 8 reduziu o GC para $43,8 \pm 0,4\%$ e $38,8 \pm 0,3\%$ em uma carga de 10 e 20% em peso, respectivamente. O GC foi significativamente diminuído por ambas as partículas de POSS em ambas as concentrações avaliadas ($p < 0,05$). A hidrofiliabilidade das partículas de BG-Bi resultou em um leve aumento, mas não significativo, da SOR em comparação com o adesivo sem carga. Por outro lado, as partículas tipicamente hidrofóbicas de POSS-1 reduziram significativamente a SOR quase 3 vezes em ambas as concentrações avaliadas. A SOR para POSS-8 também foi diminuída. A FS do Solobond é comparável quando preenchido com BG-Bi a 0,1% em peso e 1% em peso ou POSS-1 na concentração de 10% em peso. Uma redução significativa pode ser vista na concentração de 20% em peso e por POSS-8.	viscosidade baixa. O POSS multifuncional é, portanto, uma opção interessante a ser testada em experimentos de resistência de união, pois pode aumentar a resistência de união devido à sua capacidade de reticulação melhorada e evita a degradação da resistência união ao longo do tempo devido à sua capacidade de mineralização. Como as partículas de POSS monofuncionais levaram a uma conversão fortemente diminuída e as partículas de vidro bioativo induziram um forte aumento da viscosidade, o uso de tais partículas em adesivos dentinários parece ser restrita a certas aplicações e materiais.
Sabatini, et al. (2015)	Investigar a incorporação de nanopartículas de iodeto de cobre (ICu) revestidas com ácido poliacrílico (PAA) em adesivos dentinários e	XP Bond (Dentsply, York, PA) + Incorporação de ICu-PAA nas seguintes concentrações	Nanopartículas de iodeto de cobre (ICu) revestidas com ácido poliacrílico (PAA) (ICu-PAA)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao microcisalhamento (RUM_C) – 24h PROPRIEDADES BIOLÓGICAS:	Propriedades antibacterianas significativamente maiores foram observadas para adesivos contendo ICu-PAA após envelhecimento por 18 h ou 1 ano em relação a todos os grupos controle. Uma redução na contagem de células viáveis de Streptococcus mutans de 99,99%, 99,99% e 79,65% foi demonstrada para XP Bond – 0,5 mg/ml, XP Bond – 1,0 mg/ml e Optibond XTR – 1,0 mg/ml ICu-PAA após envelhecimento por 18 h, e 99,99% para XP Bond – 0,5 mg/ml e XP Bond	Dentro das limitações deste estudo, pode-se concluir que os adesivos dentinários que incorporaram partículas de ICu-PAA não apenas demonstraram propriedades antibacterianas eficazes contra Streptococcus mutans, mas também RUM_C equivalente e nenhuma citotoxicidade em relação aos seus

	avaliar, pela primeira vez, suas propriedades antibacterianas, resistência de união e citotoxicidade.	: 0,5 e 1,0 mg/ml Optibond XTR (Kerr, Orange, CA) + Incorporação de ICu-PAA na seguinte concentração 1,0 mg/ml		Atividade antibacteriana (Streptococcus mutans) – 18h e 1 ano	– 1,0 mg/ml ICu-PAA após envelhecimento por 1 ano. Foi demonstrado um efeito significativo do tratamento na RUM _c (p=0,006). No entanto, não houve diferenças entre os grupos controle, XP Bond e Optibond XTR, e suas misturas experimentais correspondentes modificadas com partículas de ICu-PAA. Diferenças significativas foram observadas apenas entre o adesivo controle Optibond XTR e misturas experimentais de XP Bond, XP Bond – 0,5 mg/ml CuI-PAA e XP Bond – 1,0 mg/ml CuI-PAA, sendo que demonstraram RUM _c significativamente menores do que Optibond XTR (p = 0,032 e p = 0,024, respectivamente).	grupos controle, contribuindo para um aumento na longevidade das restaurações adesivas e prevenindo a invasão microbiana na interface do dente restaurado.
Saffarpour et al. (2016)	Avaliar o efeito da incorporação de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) ao adesivo dentinário Single Bond em suas propriedades antibacterianas e de resistência de união	Single Bond (Adper Single Bond Plus; 3M ESPE, MN, USA) + Incorporação de nanopartículas de ZnO nas seguintes concentrações :0%, 5% e 10%, em peso	Nanopartículas de óxido de zinco (ZnO)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24h PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans)	O valor médio de RUM foi maior no grupo controle (Single Bond) (26,00±3,59MPa) seguido por Single Bond+ 5% ZnO (25,47±2,98MPa). A RUM mínima foi observada no grupo Single Bond +10% ZnO (24,92±2,30MPa). Entretanto, a diferença entre os grupos não foi significativa (p>0,05). A contagem média de colônias foi significativamente maior no grupo controle (131,65 ± 1020×102CFU/mL) e a contagem mínima de colônias ocorreu nos grupos Single Bond+5% ZnO (6,68±33,5×102 CFU/mL) e Single Bond+10%ZnO (4,95 ±18,1×102CFU/mL). A comparação intergrupo mostrou que o grupo controle teve uma diferença significativa para os grupos Single Bond+ 5%ZnO e Single Bond + 10%ZnO (p<0,05). A diferença entre os dois últimos grupos não foi significativa (p>0,05).	Os resultados do estudo atual mostraram que a incorporação de nanopartículas de ZnO ao Single Bond inibiu a formação de colônias de Streptococcus mutans sem comprometer significativamente a resistência de união. Como 10%ZnO teve um efeito antibacteriano maior do que 5%ZnO e considerando a diferença insignificante na resistência de união imediata desses dois grupos, o uso de Single Bond+10%ZnO é recomendado.
Shafiei et al. (2018)	Avaliar a atividade antibacteriana de nanopartículas de prata (Ag) e dióxido de titânio (TiO ₂) incorporadas em uma formulação experimental de agente de união dentinário.	Adesivo experimental (BisGMA, HEMA, UDMA, TMPTMA, óxido de difenil (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfina, PMP e PVP) +	Nanopartículas de prata (Ag) e dióxido de titânio (TiO ₂)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao microcisalhamento (RUM _c) – 24 horas PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antimicrobiana	O valor da RUM _c confirmou que os espécimes tinham propriedades de união semelhantes aos adesivos comerciais. Os valores de RUM _c dos espécimes (Ag: 7,58 ± 0,08MPa e TiO ₂ : 7,55 ± 0,09MPa) foram semelhantes ao grupo de controle (7,57 ± 0,1MPa). Os resultados do teste de contagem de colônias indicaram uma interação significativa em ambas as bactérias (P<0,001). Em 24 horas, a contagem das unidades formadoras de colônia (UFC%) foi	Incorporamos tentativamente nanopartículas à base de metal em um adesivo dentinário condiciona-e-lava desenvolvido para avaliar as propriedades antibacterianas do material recém-desenvolvido em bactérias cariogênicas. Descobrimos que essas nanopartículas à base de metal exibiram atividades bactericidas de maneira dose-dependente sem

		Incorporação de nanopartículas de Ag ou TiO₂ na concentração de 1% para o teste de microcislham neto e nas concentrações de 0,05%, 0,1%, 0,2%, 0,5% e 1% para o teste de contagem de colônias. *Single Bond (3M ESPE™)		(Streptococcus mutans e Lactobacillus acidophilus)	de aproximadamente 500 para L. acidophilus para o grupo controle. O adesivo contendo Ag teve uma redução gradual no UFC% com concentrações crescentes de Ag, como segue: 372 (0,05%), 340 (0,1%), 303 (0,2%), 185 (0,5%) e 130 (1%) para L. acidophilus. As contagens de UFC% foram de aproximadamente 320 para S. mutans no grupo controle. O adesivo contendo Ag também mostrou uma redução gradual em UFC% com concentrações crescentes de Ag, como segue: 207 (0,05%), 183 (0,1%), 108 (0,2%), 104 (0,5%) e 51 (1%) para S. mutans. A análise estatística demonstrou que houve diferenças estatisticamente significativas entre diferentes concentrações (P<0,05), com exceção de duas concentrações (0,2% e 0,5%, em peso) da nanopartícula de TiO₂ em L. acidophilus (P=0,068). Além disso, a diferença entre as concentrações de 0,2% em peso e 0,5% em peso da nanopartícula de Ag em S. mutans não foi estatisticamente significativa (P=1,00). Ao comparar os efeitos de cada concentração em UFC entre ambas as nanopartículas, os resultados indicaram que houve uma diferença estatisticamente significativa entre os dois tipos de nanopartículas-adesivas em cada concentração.	afetar a resistência da união ao cislhamento. As nanopartículas de Ag mostraram a maior atividade antibacteriana em comparação às nanopartículas de TiO₂. A incorporação em adesivos dentinários é uma maneira promissora de reduzir o risco de cáries secundárias.
Shi et al. (2019)	(1)Preparar um adesivo autocondicionante experimental, nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (ACP) e um adesivo mineralizante consistindo dos dois primeiros e caracterizá-los (2) investigar reduções na permeabilidade da dentina dos discos de dentina desmineralizados tratados com um	Adesivo experimental (MDP, UDMA, TEGDMA, HEMA, CQ, EDMAB e BHT) + Incorporação de nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo estabilizado com ácido poliaspártico (ACP-PAsp)	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo estabilizado com ácido poliaspártico (ACP-PAsp)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICOS: Remineralização (RM) Permeabilidade da dentina PD - Antes e 1,14 e 28 dias após o tratamento	Após armazenamento em saliva artificial (SA) por 1, 14 e 28 dias, a permeabilidade da dentina dos grupos B (dessensibilizante Gluma), C (adesivo experimental) e D (adesivo remineralizante) foi significativamente reduzida em comparação com a do controle (grupo A – água destilada) (P < 0,05). A permeabilidade da dentina dos grupos C e D foi significativamente menor do que a dos grupos A e B (P < 0,05), independentemente de terem sido submetidos a desafios abrasivos e ácidos. A permeabilidade da dentina de todos os grupos não foi significativamente diferente quando os espécimes foram armazenados apenas em SA por um período de 1 a 28 dias (P > 0,05); no entanto, a permeabilidade da dentina dos grupos A e B aumentou drasticamente após os espécimes serem submetidos a desafios abrasivos e ácidos ao longo do tempo (P < 0,05). Por outro lado, a permeabilidade da dentina dos	O adesivo mineralizante composto de um adesivo autocondicionante contendo nanopartículas de ACP-PAsp pode produzir uma mineralização híbrida com boa biocompatibilidade, que consiste em uma camada adesiva mineralizante fotopolimerizável, na dentina remineralizada e nos processos odontoblásticos, bem como nos tags resinosos mineralizadas internamente. O adesivo mineralizante não apenas reduziu significativamente a permeabilidade da dentina, mas também resistiu até certo ponto aos desafios abrasivos e ácidos. Esses resultados demonstram que o adesivo mineralizante pode ser

	dessensibilizador de dentina, o adesivo autocondicionante experimental e o adesivo mineralizante antes, durante e depois de desafios abrasivos e ácidos; e (3) analisar a selagem e a remineralização das superfícies de dentina inter e peritubular desmineralizadas, tags resinosos e processos odontoblásticos dentro dos túbulos dentinários após o tratamento com o adesivo mineralizante	de 20%, em peso (adesivo remineralizante)			grupos C e D não aumentou significativamente e a do último (grupo D) foi até reduzida ao longo do tempo ($P < 0,05$) após os espécimes serem submetidos a desafios abrasivos e ácidos. A mineralização dos túbulos dentinários foi detectada uma vez que as nanopartículas de ACP infiltraram-se nos túbulos dentinários abertos juntamente com o adesivo para formar tags resinosos. As nanopartículas inicialmente permaneceram em um estado amorfo e então gradualmente se transformaram em HAp nos túbulos dentinários. Finalmente, os túbulos dentinários abertos foram completamente ocluídos pelas tags resinosos contendo cristais de HAp. A remineralização foi detectada na dentina peri e intertubular, sendo que o grau de mineralização da dentina peritubular foi maior do que o da dentina intertubular. O processo odontoblástico mineralizado foi detectado.	usado para selar e mineralizar superfícies de dentina, túbulos dentinários e tags resinosos para o tratamento terapêutico de superfícies de dentina desmineralizadas.
Solhi et al. (2020)	Adição de uma nanocarga híbrida consistindo de partículas de nanoargila plaquetária e nanopartículas de sílica esféricas enxertadas com poli (ácido metacrílico) (NP-Si-PMA) a um adesivo dentinário experimental e avaliação das propriedades deste adesivo dentinário.	Adesivo experimental (Bis-GMA, HEMA, TMPTMA, UDMA, etanol e BD) + Incorporação de nanopartículas NP-Si-PMA nas seguintes concentrações :0%, 0,2%, 0,5%, 1%, 2% e 5%	Nanoargila plaquetária e nanopartículas de sílica esféricas enxertadas com poli (ácido metacrílico) (NP-Si-PMA)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união por microcisalhamento (RUM_C) – 24 horas	O GC% dos adesivos contendo diferentes concentrações de NP-Si-PMA está na faixa de 80–83% e não há diferença significativa entre o GC% dos adesivos com diferentes teores de carga e o Adper™ Single Bond 2 ($p > 0,05$). Os resultados do teste RUM_C mostraram que a incorporação das nanopartículas de NP-Si-PMA aumentou significativamente a resistência de união à dentina sendo que a RUM_C foi observada para o adesivo contendo 0,5% NP-Si-PMA, em peso.	A incorporação de nanocargas híbridas modificados com PMA no adesivo dentinário resultou em um agente de união dentinário com maior resistência ao cisalhamento por meio do reforço da matriz adesiva e potenciais interações entre seus grupos de ácido carboxílico e a estrutura dentária. A estabilidade de dispersão das nanopartículas também foi dramaticamente melhorada pela modificação da superfície das nanopartículas

		(3M, ESPE, USA) - controle				
Solhi et al. (2021)	Incorporar nanopartículas híbridas (nanoargila/nanossílica enxertadas com poli (ácido acrílico), respectivamente, com morfologias plaquetária e esférica, abreviadas como (NA-NSi-PAA) em diferentes concentrações (0, 0,2, 0,5, 1, 2 e 5% em peso) a um sistema adesivo experimental e investigar as propriedades físicas desse adesivo e sua resistência de união ao microcissalhamento (RUMc) à dentina	Adesivo experimental (Bis-GMA, HEMA, TMPTMA, UDMA, etanol, BD) + Incorporação das nanopartículas modificadas resultantes NA-PMA, NA-PAA, NA-NSi-PMA e NA-NSi-PAA nas seguintes concentrações : 0%, 0,2%, 0,5%, 1%, 2% e 5%, em peso	Nanopartículas híbridas nanoargila (NA)/nanossílica (NSi) enxertadas com poli (ácido acrílico) (PAA) ou poli (ácido metacrílico) (PMA) *Nanopartículas modificadas resultantes (NA-PMA, NA-PAA, NA-NSi-PMA e NA-NSi-PAA)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao microcissalhamento (RUMc) – 24 horas	Os resultados mostram um aumento significativo na RUMc do adesivo contendo 0,5% em peso de NA-NSi-PAA, em comparação aos adesivos contendo diferentes concentrações de NA-PMA, NA-PAA, NA-NSi-PMA, Adper™ Single Bond 2 e a amostra sem carga (p < 0,05). Não há diferença significativa entre o GC de todos os grupos adesivos (p > 0,05).	A incorporação de uma quantidade ótima de cargas modificadas ao adesivo dentinário experimental resultou em um aumento significativo em μ -SBS, em comparação ao adesivo em branco no caso de todas as quatro cargas modificadas (NA-PMA, NA-PAA, NA-NSi-PMA e NA-NSi-PAA). A incorporação de 0,5% em peso de NA-NSi-PAA no adesivo dentinário experimental resultou na maior RUMc e dispersão mais estável no adesivo entre todas as cargas modificadas, tornando-o a carga à base de montmorilonita ideal para reforçar os adesivos dentinários, que foi introduzida até agora.
Štruncová et al. (2020)	Avaliar a influência de nanopartículas de prata (NAg) incorporadas ao primer de um sistema adesivo de três passos (Scotch-Bond Multi purpose) sobre a cor da resina composta (CIELab e CIEDE 2000) em função dos métodos de concentração e envelhecimento.	Primer do SBMP (Scotchbond™ Multi-Purpose, 3 M ESPE, St. Paul, MN, USA) + Incorporação de NAg nas seguintes concentrações : NAg 0 (0%, em peso); NAg 50 (0,005%, em peso); NAg	Nanopartículas de prata (NAg)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Mudança de cor (ΔE s): análises após 30 dias de armazenamento em água (30D), termociclagem (TC) e envelhecimento artificial acelerado (AAA)	A ΔE s aumentou gradualmente de acordo com a porcentagem de NAg adicionado ao primer. A termociclagem e a exposição à luz UV induziram uma maior mudança de cor quando comparadas ao envelhecimento em água (D30). Diferença estatística significativa foi observada para todos os métodos de envelhecimento. CIEDE 2000 e CIELab são métodos semelhantes de avaliação de cor. Além disso, primers com até 0,025% em peso aplicados em cavidades mais profundas do que 1 mm foram seguros para a cor e não prejudicaram a percepção estética da restauração simulada.	A adição de NAg ao primer de SBMP aumentou o ΔE ; no entanto, ele permaneceu abaixo do limite aceitável relatado na literatura de 2,7 - CIELab e 1,8 - CIEDE 2000, no que diz respeito à mudança de cor. Portanto, dentro das limitações de uma configuração in vitro, o presente estudo demonstrou que o uso de primers com NAg de até 0,025% em peso em cavidades com mais de 1 mm de profundidade não altera a percepção da cor significativamente e é seguro para a cor. Os métodos CIEDE 2000 e

		100 (0,010%, em peso); NAg 150 (0,015%, em peso); NAg 200 (0,020%, em peso); NAg 250 (0,025%, em peso).				CIELab apresentaram resultados semelhantes, e ambos podem ser usados para avaliação de cor de materiais à base de resina.
Stürmer et al. (2021)	Formular adesivos experimentais contendo nanotubos de dióxido de titânio (nt-TiO ₂) ou nanotubos de dióxido de titânio com um monômero de triazina-metacrilato (nt-TiO ₂ :TAT) e avaliar o efeito dessas cargas nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos adesivos.	Adesivo experimental (BisGMA, HEMA, CQ, EDMAB e BHT) + Incorporação de nt-TiO ₂ ou nt-TiO ₂ :TAT: 0%, 2,5% e 5%, em peso	Nanotubos de dióxido de titânio (nt-TiO ₂) ou nanotubos de dióxido de titânio com um monômero de triazina-metacrilato (nt-TiO ₂ :TAT)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Cinética de polimerização Grau de conversão (GC) Dureza Knoopn (DK) - DK_{imediate} e DK_{24horas} PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência à tração máxima (RTM) Resistência de união à microtração (RUM): 24 horas e 1 ano PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans)	Os adesivos com nt-TiO₂:TAT apresentaram atividade antimicrobiana contra a formação de biofilme em comparação ao controle (p < 0,05), sem diferenças na viabilidade de bactérias planctônicas (p > 0,05). Todos os grupos apresentaram altas porcentagens de viabilidade das células pulpares. A cinética de polimerização variou entre os grupos, mas todos apresentaram DC acima de 50%. A adição de 5% em peso de nt-TiO₂ e ambos os grupos contendo nt-TiO₂:TAT apresentaram maiores valores de DK em comparação ao controle (p < 0,05) Os grupos com nt-TiO₂:TAT apresentaram menor ΔDK% (p < 0,05) e maior RTM (p < 0,05) do que o grupo controle. Após um ano, o grupo com 5% em peso de nt-TiO₂ bem como ambos os grupos contendo nt-TiO₂:TAT, apresentaram RUM maior do que o controle (p < 0,05).	A mistura de um monômero de triazina-metacrilato com o nt-TiO ₂ gerou uma carga que melhorou as propriedades físico-químicas dos adesivos dentinários e proporcionou atividade antibacteriana, o que pode auxiliar na prevenção de lesões cáries ao redor das interfaces resina-dentina. O conjunto de propriedades físicas, químicas e biológicas do polímero formulado, juntamente com a maior estabilidade da resistência de união ao longo do tempo, tornam o nt-TiO ₂ :TAT uma carga promissora para adesivos dentinários.
Sucalã et al., (2018)	Avaliar novos adesivos dentinários experimentais em comparação com adesivos comerciais, em relação à sorção e solubilidade, bem	Adesivo experimental A1: Bis-GMA, HEMA, TEGDMA, Ácido poliacrílico, etanol e	Nanopartículas de dióxido de titânio (TiO ₂)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Sorção de água (SOR) Solubilidade (SOL) *Ambas avaliadas nos seguintes	De acordo com a análise estatística, houve diferenças altamente significativas entre os materiais para todos os valores de SOR e SOL, com algumas exceções (p<0,05). Após o armazenamento em água, não houve diferença significativa entre A2 e A3 em 1 dia, entre A2 e 2-Bond em 7 dias, bem como entre A2 e 2-Bond em 14 dias para a SOR. Além disso, não houve diferenças significativas entre todos os materiais	O reforço de TiO ₂ em matrizes poliméricas mostrou resultados interessantes na melhoria das propriedades de sorção de água e solubilidade. Com base nos resultados obtidos, podemos considerar que o TiO ₂ (sistemas autocondicionantes de dois passos – A2) pode ser uma carga muito

	como para investigar as características químicas das interfaces dentina-adesivo	iniciadores, 5% HAp-TiO₂ A2: (1) Primer-Bis-GMA, HEMA, Ácido poliacrílico, Etanol, Água e iniciadores; (2) Adesivo-Bis-GMA, HEMA, TEGDMA e iniciadores, 15% TiO₂ A3: (1) Primer-Bis-GMA, HEMA, Ácido poliacrílico, Etanol, Água e iniciadores; (2) Adesivo-Bis-GMA, HEMA, TEGDMA e iniciadores, 5% HAp-Ag, 5% HAp-ZnO, 5% TiO₂ A4: Adesivo-Bis-GMA, HEMA, TEGDMA, Ácido poliacrílico, Etanol e iniciadores, 5% TiO₂ Controle: 2Bond, Heraeus Kulzer GmbH		períodos de tempo: 1, 7, 14 e 21 dias	para a SL e SL%, ($p=0,196$ e $p=0,245$, respectivamente). Mas houve diferenças significativas entre os meios de armazenamento. A maior SOR foi obtida para o adesivo A1 quando ele foi imerso em saliva artificial, seguido por A4 e 2-Bond. Uma quantidade maior de TiO₂ na composição do adesivo experimental diminui a SOR e a SOL. Além disso, nenhuma diferença significativa foi observada entre A2 e 2-Bond após 14 e 21 dias de período de SOR. A SOR e a SOL dos adesivos dentários experimentais e comerciais foram todas significativamente dependentes da composição do material	promissor para os adesivos dentários.
--	--	---	--	--	---	--

Sun et al. (2017)	Demonstrar que nanopartículas (NPs) de dióxido de titânio (TiO_2) funcionalizados com ácido carboxílico produzem níveis significativamente mais altos de espécies reativas de oxigênio (ROS) após irradiação de luz visível (400 nm a 800 nm, 1600 mW/cm ²) em comparação com NPs de TiO_2 não funcionalizadas.	Adesivo experimental/ Nanocompósito os: 1) Bis-GMA-HEMA (B/H) + CQ e etil 4-dimetilaminob enzoato 2) Bis-GMA-TEGDMA (B/T) + CQ e etil 4-dimetilaminob enzoato 3) PMGDM-HEMA (P/H) + CQ e etil 4-dimetilaminob enzoato + Incorporação de nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) funcionalizado s com ácido carboxílico (AP25) *Scotchbond (3M ESPE, St. Paul, MN, USA) - controle	Nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) funcionalizados com ácido carboxílico	PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Danos ao DNA PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união por microcisalhamento (RUM_c) – 24 horas	O nível de ROS produzido sob essas condições de irradiação não foi capaz de gerar danos ao DNA induzidos por oxidação em um sistema livre de células para concentrações de TiO_2 de 0,5 mg/L ou 5 mg/L. O aumento nos valores médio de GC do nanocompósito foi de $\approx 7\%$ (em todos os 3 tipos de nanocompósitos). A incorporação de 1000 mg/L de AP25 nas misturas aumentou os valores médios de RUM_c em 25,6%, 37,3% e 26,5% para as formulações B/T, B/H e P/H, respectivamente. Independentemente do tipo de mistura de resina, foi observado uma melhoria de forma geral em RUM_c alcançada pela incorporação de NPs de AP25 de 28,7% ($P < 0,05$). Além disso, o RUM_c observado nas misturas contendo AP25 foi maior do que o controle (Scotchbond) ($P < 0,05$).	O monitoramento em tempo real da geração de ROS pelos NPs com/sem funcionalização de ácido carboxílico demonstrou que tanto a quantidade relativa quanto a persistência do ROS gerado aumentam quando os NPs são funcionalizados por ácidos carboxílicos. Após a incorporação dos NPs funcionalizados (AP25) em misturas resinosas, estudos cinéticos e testes de união clinicamente relevantes mostraram que os NPs melhoraram efetivamente o GC das resinas, o que melhorou ainda mais a união dos adesivos aos dentes. A análise de danos ao DNA revelou uma ausência de níveis de lesão significativamente aumentados sob irradiação de luz por 24 h, exceto nas maiores concentrações de NP TiO_2 testadas (50 mg/L).
Toledano et al. (2015)	Avaliar a resistência de união, a interação química e o desempenho mecânico de superfícies de dentina afetada por cárie tratadas com	Clearfil SE Bond (Kuraray, Tokyo, Japan) *Primer = SEB.P *Bond = SEB.Bd + Incorporação	Nanopartículas de óxido de zinco (ZnO)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS:	Na camada híbrida, espécimes tratados com ZnO incorporado no primer (SEB-P-ZnO), após ciclagem de carga, atingiram o maior E e ND A ciclagem de carga aumentou o E na parte inferior da camada híbrida quando SEB não dopado e o SEB com ZnCl_2 incorporado no bond (SEB-Bd-ZnCl ₂), foram usados. O ZnO incorporado no primer promoveu um aumento na altura dos picos de fosfato e carbonato, cristalinidade,	Em geral, uma restauração substancial das propriedades mecânicas da dentina afetada por cárie ocorreu quando os adesivos dopados com SEB-Zn foram usados e o ciclo de carga foi aplicado, levando à remineralização funcional. O ZnO incorporado ao primer do sistema

	adesivos autocondicionantes (SERs) dopadas com nanopartículas de óxido de zinco (ZnO).	de ZnO na concentração de 10%, em peso no primer (SEB·P-ZnO) e no bond (SEB·Bd-ZnO) OU Incorporação de cristais de cloreto de zinco (ZnCl ₂) na concentração de 2%, em peso no primer (SEB·P-ZnCl ₂) e no bond (SEB·Bd-ZnCl ₂)		Remineralização) Nanodureza (ND) Elasticidade (E) *Armazenamento por 24 h em fluido corporal simulado (SBF) ou submetida a carga mecânica, em SBF (100.000 ciclos, 3 Hz, 49 N)	concentração mineral relativa e menor reticulação de colágeno. O ZnCl ₂ adicionado no bond atingiu resultados semelhantes, mas a concentração mineral relativa diminuiu, associada à maior reticulação e maturação de colágeno restrita. Em relação aos valores de RUM, não foram observadas diferenças entre os grupos com carga e sem carga.	SEB promoveu um dos maiores aumentos na nanodureza e elasticidade, na interface dentina-resina, após o ciclo de carga. O ZnCl ₂ incluído no bond do sistema SEB promoveu um aumento da elasticidade, após carga mecânica. SEB·P-ZnCl ₂ e SEB·Bd-ZnO atingiram valores intermediários de propriedades nanomecânicas, com cristalinidade diminuída, ou seja, menor tamanho de cristal e maior dissolução de minerais.
Toledano et al. (2016)	Avaliar a interação química e o desempenho mecânico de superfícies de dentina afetada por cárie tratadas com adesivos condiciona-e-lave dopados com nanopartículas de óxido de zinco (ZnO)	Single Bond Plus (3 M ESPE, St Paul, MN, USA) (SB) + Incorporação de ZnO na concentração de 10%, em peso Ou Incorporação de cristais de cloreto de zinco (ZnCl ₂) na concentração de 2%, em peso	Nanopartículas de óxido de zinco (ZnO)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Remineralização (RM) Nanodureza (ND) Elasticidade (E) *Armazenamento por 24 h em fluido corporal simulado (SBF) ou submetida a carga mecânica, em SBF (100.000 ciclos, 3 Hz, 49 N)	Os resultados confirmam que o ciclo de carga em superfícies de dentina afetada por cárie condicionadas com ácido fosfórico ou EDTA, e infiltradas com um adesivo condiciona-e-lave dopado com ZnO ou ZnCl ₂ promove um aumento da mineralização na interface dentina afetada por cárie-resina. Esse efeito foi especialmente notado ao usar adesivo contendo ZnCl ₂ em dentina cariada tratada com EDTA. Espécimes tratados com o grupo PA + SB-ZnO atingiram uma maior ND e E em comparação com o grupo controle (PA+SB), tanto na camada híbrida quanto na parte inferior da camada híbrida. Espécimes tratados com PA+SB-ZnO e submetidos a ciclos de carga mostraram, em geral, valores mais baixos em ambas as propriedades nanomecânicas (ND e E), mas	De acordo com os resultados pode-se concluir: 1)Espécimes de dentina afetada por cárie condicionadas com ácido fosfórico e infiltradas com um adesivo condiciona-e-lave contendo ZnO atingiram as mais altas propriedades físico-químicas; mesmo quando essas propriedades diminuíram após o ciclo de carga, elas ainda permaneceram muito acima daquelas obtidas no restante dos grupos experimentais. 2. As propriedades físico-químicas não foram alteradas quando superfícies de dentina afetada por cárie condicionadas com ácido fosfórico, infiltradas com um adesivo condiciona-e-lave

		*GRUPOS: 1)PA (ácido fosfórico) + SB 2)PA + SB-ZnO 3)PA + SB-ZnCl₂ 4)EDTA (ácido etilenodiamino tetracético) + SB 5)EDTA + SB-ZnO 6)EDTA + SB-ZnCl₂			maior concentração mineral relativa (RM) do que as amostras sem carga Pelo contrário, amostras de dentina cariada tratadas com PA+SB-ZnCl₂ tiveram desempenho diferente, pois o ciclo de carga não afetou a ND na camada híbrida nem na parte inferior da camada híbrida, e a E diminuiu na parte inferior da camada híbrida após o ciclo de carga Na maior parte, quando a dentina afetada por cárie foi tratada com EDTA, infiltrada com adesivo e submetida a ciclo de carga, os espécimes dopados com Zn atingiram claramente ND e E mais altos na camada híbrida e na parte inferior da camada híbrida	contendo ZnCl₂ foram submetidas ao ciclo de carga, em comparação com as amostras sem carga. 3. O ciclo de carga aumentou as propriedades físico-químicas quando a dentina afetada por cárie tratada com EDTA foi infiltrada com um adesivo condiciona-e-lava contendo ZnO ou ZnCl₂. 4. Espécimes de dentina afetada por cárie tratada com EDTA e infiltradas com um adesivo condiciona-e-lave dopado com ZnCl₂, e submetidos à carga mecânica apresentaram potencial remineralizador.
Torres-Méndez et al. (2017)	Avaliar o efeito da adição de nanopartículas de prata (NAG) esféricas em um adesivo dentinário condiciona-e-lava (ER) e dois adesivos dentinários autocondicionante (SE) ao esmalte fluorótico usando o teste de resistência de união à microtração (RUM).	Excite™ (EX™, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) Adper Prompt L-Pop™ (APL-P™, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) AdheSE™ (ASE™, Ivoclar Vivadent) - Sistema adesivo autocondicionante de dois passos + Incorporação de nanopartículas de prata (NAG)	Nanopartículas de prata (NAG)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM): 24 horas PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Ângulo de contato (AC)	. Os adesivos dentinários comerciais alcançaram a menor RUM (Excite™: 11,0±2,1, Adper Prompt L-Pop™:14,0±5,4 e AdheSE™:16,0±3,0 MPa) respectivamente). A RUM alcançada em todos os sistemas adesivos experimentais (19,0±5,4, 20,0±4,0 e 19,0±3,5 MPa, respectivamente) foi estatisticamente maior (p<0,05) do que o controle. O AC em todos os SAs experimentais com NAG foi impossível de medir, pois o agente entrou e molhou rapidamente o substrato. A análise estatística mostrou que a RUM e AC foram significativamente afetados (p<0,001) por dois fatores: sistemas adesivos (Total-Etch e Self-etch) e a adição de nanopartículas de Ag nos sistemas adesivos. Os valores de RUM foram maiores nos sistemas adesivos autocondicionantes (média 17,4).). Os valores de AC foram maiores no sistema adesivo ER (média 23,0) e, nos sistemas adesivos sem nanopartículas de Ag (média 34,4). A interação entre os dois fatores foi significativa (p<0,0001).	Os resultados sugerem que ao adicionar nanopartículas de prata a fim de diminuir o ângulo de contato e melhorar a molhabilidade do sistema adesivo, resulta em um aumento da resistência de união.

		na concentração de 535ppm				
Torres- Rosas et al. (2020)	Avaliar a atividade antibacteriana, citotoxicidade e resistência de união ao cisalhamento (RUC) de um adesivo dentinário experimental contendo nanopartículas de cobre (NPsCu).	Adper™ Single Bond Plus (3M ESPE, St. Paul, USA) + Incorporação de NPsCu nas seguintes concentrações : 0,0050 %, 0,0075% e 0,0100% para avaliação das propriedades biológicas e incorporação de NPsAg na concentração 0,0100% (selecionada de acordo com os testes antibacterianos) para avaliar a resistência de união ao cisalhamento.	Nanopartículas de cobre (NPsCu).	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união ao cisalhamento (RUC) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana: Staphylococcus aureus, Escherichia coli e Streptococcus mutans	O adesivo experimental contendo 0,0100% em peso de NPsCu demonstrou a maior atividade antibacteriana e os resultados obtidos são comparáveis ao efeito antibacteriano da clorexidina (CHX). Os adesivos contendo 0,0075% em peso e 0,0050% em peso de NPsCu mostraram leves zonas de inibição. A RUC média do grupo II (com NPsCu) foi significativamente maior que o do grupo I (controle – sem NPs Cu) ($6,038 \pm 2,95$ MPa e $3,278 \pm 1,75$ MPa, respectivamente; $p = 0,0001$). Assim, as NPs Cu incorporadas ao adesivo aumentaram significativamente sua RUC.	Os resultados deste estudo sugerem que a incorporação de NPsCu em um adesivo melhora seu RUC e lhe confere um efeito antibacteriano, sem aumentar sua citotoxicidade inerente – características desejáveis para adesivos dentinários.
Wang et al. (2018)	Investigar: 1) a viabilidade de uma nova estratégia de mineralização biomimética assistida por adesivo fluorescente, constituído por 1% em peso de fluoresceína de sódio e 25% em peso de nanopartículas de	Clearfil S3 Bond (S3, Kuraray-Noritake, Japão) – Adesivo autocondicionante de frasco único (controle) + Incorporação de 1% em peso de fluoresceína	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo estabilizado com ácido poliacrílico (ACP-PAA)	PROPRIEDADES QUÍMICAS: Remineralização (RM)	As imagens microscópicas revelaram que as fibrilas de colágeno tipo I se tornaram significativamente mais espessas após as grades tratadas com o adesivo experimental serem incubadas em saliva artificial por 1 dia. Após 4 dias de incubação, a maioria das intra e extra-fibrilas foram mineralizadas. As fibrilas de colágeno tipo I foram fortemente mineralizadas após a incubação por 7 dias. Além disso, a mineralização não foi detectada no grupo de controle, o que pode ser resultado da falta de nanoprecursos, como nanopartículas de ACP-PAA.	A nova estratégia de mineralização biomimética assistida por adesivo fluorescente, baseada no adesivo mineralizante fluorescente composto de 25% em peso de nanopartículas de ACP-PAA, 1% em peso de fluoresceína de sódio e o adesivo autocondicionante suave (Clearfil S3 Bond), pode induzir a remineralização extra e intrafibrilar do colágeno tipo I reconstituído, do esmalte e da dentina desmineralizados, bem como apresentar uma excelente biocompatibilidade e fluorescência

	fosfato de cálcio amorfo estabilizado com ácido poliacrílico (ACP-PAA) incorporados em um adesivo autocondicionante suave (Clearfil S3 Bond) como um adesivo mineralizante fluorescente ou seja, seus efeitos de remineralização, intensidade de fluorescência e toxicidade celular; e 2) o processo de transformação de fase de nanopartículas de ACP na dentina e esmalte desmineralizados.	de sódio e 25% em peso de nanopartículas ACP-PAA (adesivo mineralizante fluorescente/a desivo experimental)			Na mineralização do esmalte foi observado por imagem microscópica uma quantidade de nanopartículas de ACP visível dentro da camada adesiva experimental, algumas das quais foram transformadas em hidroxiapatita (HAp) após 2 semanas de incubação. Uma camada de remineralização de aproximadamente 200 nm foi detectada ao redor do esmalte após 4 semanas de incubação. Para a mineralização da dentina foi observado um aumento da camada de remineralização de 100~200 nm para 400~500 nm, aproximadamente, na base da dentina intacta após a dentina desmineralizada tratada com o adesivo experimental ter sido incubada por 2 e 4 semanas. As imagens das amostras de esmalte/dentina mostraram que o adesivo fluorescente penetrou em aproximadamente 20-30 μm do esmalte desmineralizado e aproximadamente 50-60 μm da dentina desmineralizada. A intensidade da fluorescência do adesivo experimental não diminuiu drasticamente em 6 meses. A fluorescência do adesivo controle não foi detectada.	detectável da interferência estética mínima da cor do dente. Esta estratégia abrirá caminho para projetar e produzir materiais anticáries para a prevenção de cáries dentárias.
Xie et al. (2017)	Desenvolver um novo adesivo bioativo para inibição de cáries incorporando dimetilaminohexadecil metacrilato (DMAHDM) e metacrilolioxietil fosforilcolina (MPC) em um adesivo contendo nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) recarregável e investigar a resistência de união à dentina,	Sistema adesivo experimental PRIMER EXPERIMENTAL (PM): PMGDM, HEMA e acetona ADESIVO EXPERIMENTAL: PMGDM, EBPADMA, HEMA, BisGMA e óxido de fenilbis (2,4,6-	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união por microtração (RUM) – 24 horas PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Adsorção de proteína (AP) Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS:	Diferentes níveis de carga de NACP tiveram um efeito significativo na RUM ($p < 0,05$). Os adesivos com 20-30% NACP tiveram RUM à dentina correspondentes aos controles ($p > 0,1$). A RUM à dentina do adesivo com 40% de preenchimento de NACP foi significativamente menor ($p < 0,05$). Os resultados da AO nas superfícies do disco de adesivo mostraram que controle experimental e o controle comercial tiveram adsorção de proteína semelhante ($p > 0,1$). Todos os adesivos contendo MPC tiveram muito menos adsorção de proteína ($p < 0,05$). O nível de carga de NACP não teve efeito significativo na adsorção de proteína ($p > 0,1$). Imagens representativas de coloração viva/morta de biofilmes de 2 dias em adesivos revelaram que	Portanto, o novo adesivo com benefícios triplos é promissor para proteger as estruturas dentárias e inibir a formação de biofilmes e cáries. O método de combinar NACP, MPC e DMAHDM para benefícios triplos é promissor para aplicação em uma ampla gama de materiais restauradores e preventivos para reduzir o acúmulo de placa e inibir cáries.

	adsorção de proteína, resposta do biofilme e propriedades de pH	trimetilbenzoil) fosfina) + Incorporação de NACP nas seguintes concentrações , 0%, 20%, 30%, 40%, em peso. *GRUPOS: 1) Prime & Bond NT (Dentsply, Milford, DE): controle comercial 2) PM e PEHB, 0% MPC, 0% DMAHDM e 0% NACP (controle experimental) 3) PM contendo 5% MPC e 5% DMAHDM. PEHB contendo 5% MPC e 5% DMAHDM, 0% NACP (MPC+DMAHDM) 4) PM contendo 5% MPC e 5% DMAHDM. PEHB contendo 5% MPC e 5% DMAHDM e 20% NACP (MPC+DMAHDM+20NACP)		Remineralização (RM)	o controle experimental e controle comercial foram quase totalmente cobertos por bactérias vivas. Em contraste, as imagens também mostraram muito menos adesão bacteriana, e os biofilmes consistiam principalmente de bactérias mortas com coloração vermelha e amarela. Na atividade metabólica MTT de biofilmes de 2 dias em adesivos foi observado que o controle experimental e o controle comercial foram semelhantes ($p > 0,1$). Adicionar MPC e DMAHDM ao adesivo reduziu progressivamente a atividade metabólica dos biofilmes ($p < 0,05$). O nível de carga de NACP não teve efeito significativo na atividade metabólica dos biofilmes ($p > 0,1$). As contagens de unidade formadora de colônias (UFC) de biofilmes de 2 dias em adesivos mostrou que o controle experimental e o controle comercial tiveram UFC semelhantes ($p > 0,1$). Os microrganismos totais, estreptococos totais e estreptococos mutans em adesivos contendo MPC e DMAHDM foram quase 4 ordens de magnitude menores do que os dos controles. O nível de carga NACP não teve efeito sobre UFC ($p > 0,1$). As concentrações de íons Ca e P no meio de cultura do biofilme aumentaram significativamente quando o nível de carga NACP foi aumentado de 20% para 40% ($p < 0,05$). Esses resultados demonstram que a vizinhança de um adesivo contendo NACP teria um reservatório de íons Ca e P para promover a remineralização. O pH diminuiu com o aumento do tempo devido à produção de ácido pelos biofilmes e atingiu um pH estável de 4,0 para o controle comercial, 4,1 para o controle experimental, 5,6 para MPC+DMAHDM e 5,8 para MPC+DMAHDM+20NACP. Os valores de pH estável de MPC+DMAHDM, MPC+DMAHDM+20NACP e dois controles são significativamente diferentes entre si ($p < 0,05$).	
--	--	---	--	-----------------------------	---	--

		5) PM contendo 5% MPC e 5% DMAHDM. PEHB contendo 5% MPC e 5% DMAHDM e 30% NACP (MPC+DMAHDM+30NACP) 6) PM contendo 5% MPC e 5% DMAHDM. PEHB contendo 5% MPC e 5% DMAHDM e 40% NACP (MPC+DMAHDM+40NACP)			O pH para MPC+DMAHDM+30NACP diminuiu com o tempo e atingiu 6, depois recuperou para 6,5 em 72h. O pH para MPC+DMAHDM+40NACP diminuiu com o tempo e atingiu 6,1, depois recuperou para 6,7. Os valores de pH em 72h para MPC+DMAHDM+30NACP e MPC+DMAHDM+40NACP não são significativamente diferentes entre si ($p > 0,1$).	
Yang et al. (2021)	Incorporar nanopartículas de prata (NPsAg) sintetizadas in situ em um adesivo dentinário	Clearfil SE Bond (Kuraray Inc., Tokyo, Japan) + Incorporação de NPsAg nas seguintes concentrações :0%, 0,1% e 0,2% * Clearfil Protect Bond (CPB, Kuraray Inc., Tokyo, Japan) – controle positivo	Nanopartículas de prata (NPsAg)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Grau de conversão (GC) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans)	O GC dos quatro grupos foi $76,8 \pm 2,2$ (0,0% Ag), $75,1 \pm 4,9$ (0,1%Ag), $74,1 \pm 4,4$ (0,2% Ag), $80,2 \pm 2,3$ (CPB), respectivamente. Não houve diferença estatística entre os grupos 0,0% Ag, 0,1% Ag e 0,2% Ag ($p > 0,05$).. Os resultados da taxa antibacteriana revelaram que ambos os grupos ($F = 206,40$, $p < 0,05$) e o tempo de imersão (12 meses) ($F = 25,51$, $p < 0,05$) ou a interação dos dois fatores ($F = 11,31$, $p < 0,05$) tiveram impactos significativos na taxa antibacteriana. Os grupos 0,1% Ag, 0,2% Ag e CPB não apresentaram diferença estatisticamente significativa na atividade antibacteriana após diferentes períodos de imersão (1 semana, 3 meses, 4 semanas e 12 meses) ($p > 0,05$). No entanto, a taxa antibacteriana do grupo 0% Ag foi estatisticamente diferente com o tempo de envelhecimento ($p < 0,05$). Enquanto isso, o grupo 0,0% Ag foi significativamente diferente dos outros três grupos no mesmo período de imersão ($p < 0,05$).	A síntese in situ de NPsAg pode ser uma técnica promissora na modificação antibacteriana de adesivos dentinários.

					As imagens de coloração viva/morta de biofilmes de superfície do adesivo dentinário mostrou que após cada tempo de armazenamento em água, a cobertura virtualmente completa de bactérias vivas foi determinada no grupo Ag 0%, e havia um número substancial de bactérias mortas nas superfícies dos adesivos dos grupos Ag 0,1%, Ag 0,2% e CPB.	
Yu et al. (2017)	Investigar a capacidade de inibição da desmineralização a longo prazo de um adesivo recarregável com nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) na dentina em um ambiente desafiado por biofilme	Adesivo experimental (PEHB): PMGDM, EBPADMA, HEMA, BisGMA e óxido de fenilbis (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfina) + Incorporação de NACP nas seguintes concentrações : 0% e 40%, em peso	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP)	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Liberção de íons (LI) Microureza (MD) Remineralização Inibição da desmineralização PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Streptococcus Mutans)	Os valores de pH dos dois grupos após uma imersão de 4 h em caldo de infusão de cérebro e coração com 1% de sacarose (BHIS) mostrou que o adesivo NACP recarregado foi capaz de aumentar o pH de forma estável para aproximadamente 5,0 no ambiente do biofilme de <i>S. mutans</i> a cada dia, enquanto o pH do grupo controle diminuiu para 4,5. O adesivo recarregado com NACP diminuiu a produção de ácido láctico em comparação ao produzido no grupo controle ($P < 0,05$). Para os valores de unidade formadora de colônias (UFC), nenhuma diferença significativa foi encontrada entre os dois grupos ($P > 0,05$). A concentração de íons cálcio (Ca) do grupo adesivo NACP no BHIS e saliva artificial (AS) foi de $2,88 \pm 0,04$ e $2,30 \pm 0,08$ mmol/L, respectivamente, o que foi significativamente diferente da concentração de íons Ca do grupo controle, que foi de $2,04 \pm 0,03$ e $1,57 \pm 0,11$ mmol/L, respectivamente ($P < 0,05$). A concentração de íons fosfato (P) do grupo adesivo NACP em BHIS e AS foi de $15,16 \pm 0,15$ e $1,72 \pm 0,64$ mmol/L, respectivamente, o que também foi maior do que a concentração de íons P do grupo controle, que foi de $14,16 \pm 0,05$ e $0,91 \pm 0,03$ mmol/L, respectivamente ($P > 0,05$). A concentração de íons P de BHIS foi muito maior do que a de AS porque a concentração de íons P em BHI foi de aproximadamente $14,62 \pm 0,11$ mmol/L. A MD da superfície da dentina hígida foi de $0,67 \pm 0,05$ Gpa. Após o ciclo de desmineralização/remineralização, a	Em resumo e dentro das limitações da investigação in vitro, foi demonstrado que o adesivo recarregável com NACP foi capaz de liberar íons Ca e P de forma sustentável em um ambiente de biofilme de <i>S. mutans</i> de 10 dias, aumentando o pH dos biofilmes de <i>S. mutans</i> e diminuindo a produção de ácido pela primeira vez, indicando seu potencial para inibição de cáries secundárias e durabilidade da restauração. O adesivo com íons esgotados ainda pode inibir a desmineralização da dentina em um ambiente de biofilme ao ser recarregado com íons Ca e P, indicando uma capacidade de inibição da desmineralização e proteção dentária a longo prazo.

					microdureza do grupo controle diminuiu significativamente para $0,25 \pm 0,01$ Gpa ($P < 0,05$). A MD do grupo adesivo NACP foi de $0,45 \pm 0,08$ Gpa, que foi semelhante à das amostras de dentina desmineralizadas por biofilme de 24 h ($0,47 \pm 0,06$ Gpa) ($P > 0,1$).	
Zhang et al. (2015)	Desenvolver um adesivo dentinário recarregável com íons cálcio e fosfato (CaF) pela primeira vez e investigar os efeitos de diferentes composições adesivas e frações de massa de nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) na recarga de íons Ca e F e na eficácia de liberação.	Adesivo experimental 1)Primer (PE): (PMGDM, EBPADMA e óxido de fenilbis (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfina) 2) Adesivo (PEH) (PMGDM, EBPADMA, HEMA e óxido de fenilbis (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfina) 3)Adesivo (PEHB): PMGDM, EBPADMA, HEMA, BisGMA e óxido de fenilbis (2,4,6-trimetilbenzoil) fosfina + Incorporação de NACP nas seguintes concentrações : 0%, 20% e 30%	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união por microcissalhamento (RUM_c) – 24h PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Liberação de íons	Os diferentes tipos de adesivos tiveram um efeito significativo na RUM_c à dentina ($p < 0,05$). O adesivo PEHB teve a maior RUM_c à dentina seguido pelo PEH, enquanto o PE teve a menor RUM_c ($p < 0,05$). Para cada tipo de adesivo, o nível de preenchimento NACP de 0–30% não teve efeito significativo na RUM_c à dentina ($p > 0,1$). O adesivo PEHB teve RUM_c à dentina correspondente ao controle PEH e foi maior do que a do controle PE ($p > 0,1$). Como esperado, não houve liberação de Ca e P em 0% de NACP. A liberação aumentou significativamente quando o nível de carga de NACP foi aumentado de 20% para 30% ($p < 0,05$). PEHB teve a maior liberação de íons, seguido por PEH ($p < 0,05$). PE teve a menor liberação de íons. Para todos os adesivos contendo NACP, as concentrações de íons aumentaram significativamente com o tempo de 1 a 42 dias ($p < 0,05$). Os espécimes exaustos foram recarregados e a liberação de íons foi mensurada por 7 dias, como um ciclo. Três ciclos de recarga/liberação foram realizados e adesivos com 0% de NACP mostraram pouca liberação após cada recarga. Para cada adesivo, aumentar o nível de carga de NACP para 20% e 30% aumentou bastante a liberação de íons ($p < 0,05$). Para cada adesivo, não houve diminuição na liberação de íons do primeiro ciclo de recarga/liberação para o terceiro ciclo. Para cada ciclo, a liberação de íons atingiu um nível similarmente alto, demonstrando uma capacidade de recarga/liberação de longo prazo. Comparando os três tipos de adesivos, o PEHB teve a melhor capacidade de recarga e liberação, seguido pelo PEH e depois pelo PE.	O presente estudo desenvolveu o primeiro agente de união dentinário de fosfato de cálcio recarregável para fornecer íons Ca e P de longo prazo para promover a remineralização e inibir cáries. O adesivo PEHB mostrou a maior resistência de união à dentina, e aumentar o conteúdo de NACP de 0% para 30% não comprometeu tal resistência. O PEHB teve a maior liberação inicial de íons Ca e P, seguido por PEH e PE. O PEHB teve a maior recarga e liberação de íons Ca e P, seguido por PEH e PE. Após a recarga, as resinas tiveram liberação contínua de íons por pelo menos 2–3 semanas, antes que outra recarga fosse necessária. Para cada adesivo, o NACP a 30% produziu liberação, recarga e liberação de Ca e P muito melhores do que 20% de NACP. Entre todos os agentes de união avaliados, o PEHB com 30% de NACP pareceu ser o melhor, considerando sua maior resistência de união à dentina, liberação de íons Ca e P, recarga e liberação.

					Após o terceiro ciclo de recarga/liberação, a liberação contínua de íons Ca e P dos espécimes sem recarga adicional foi mensurada por 42 dias.. Para adesivos contendo NACP, os adesivos PEH e PEHB apresentaram maior liberação de íons Ca e P do que o adesivo PE ($p < 0,05$). Os adesivos PEH e PEHB apresentaram níveis semelhantes de liberação de íons ($p > 0,1$). A liberação foi maior em níveis mais altos de carga de NACP ($p < 0,05$). As concentrações de íons liberados aumentaram significativamente de 1 d para cerca de 14 d e então gradualmente atingiram um platô. Esses resultados demonstram que após a terceira recarga, os espécimes liberaram íons Ca e P por 7 d e então continuaram a liberar íons por cerca de 14 d. Portanto, eles tiveram liberação significativa de íons com duração de cerca de 21 d após a recarga.	
Zhang et al, (2019)	Investigar os reagentes sólidos de nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (ACP) com 10-metacrilóiloxidecil di-hidrogenofosfato (MDP) em solução aquosa de etanol e o efeito da suspensão de ACP-MDP como um novo primer nas resistências de união do microtecido dentinário (μ TBS) antes da aplicação de adesivos autocondicionantes.	Primer experimental (5% em peso de MDP + 0,01 g de ACP)	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (ACP)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união à microtração (RUM) – 24h	Após as superfícies de dentina serem tratadas com suspensão de ACP-MDP ou solução de MDP a 5%, a RUM da dentina pôde ser significativamente melhorado 5% MDP+ACP: $38,92 \pm 6,06$ MPa; 5%MDP: $34,44 \pm 4,11$ MPa, comparado com o controle (sem tratamento da superfície) ($24,46 \pm 6,11$ MPa) ($P < 0,01$). Além disso, as superfícies de dentina tratadas com suspensão de ACP-MDP apresentaram RUM significativamente maior do que aquelas tratadas com MDP a 5% ($P < 0,01$).	A suspensão de ACP-MDP pode ser usada como um novo primer para melhorar a RUM da dentina antes da aplicação de adesivos autocondicionantes.
Zhang et al. (2015)	Desenvolver um novo adesivo para prevenção de cáries radiculares e cáries secundárias.	Scotchbond multi-purpose (SBMP, 3M, St. Paul, MN) +	Nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP)	PROPRIEDADES MECÂNICAS: Resistência de união por	Os grupos 1(SBMP controle), 2 (7,5%MPC+5%DMAHDM) 3(7,5%MPC+5%DMAHDM +20%NACP) e 4 (7,5%MPC+5%DMAHDM +30%NACP) apresentaram RUM _c à dentina semelhantes ($p >$	O presente estudo desenvolveu um adesivo multifuncional para prevenção de cáries radiculares e cáries secundárias combinando MPC para repelir proteínas.

	com capacidade de repelir proteínas, propriedades antibacterianas e potencial de remineralização pela primeira vez; e investigar os efeitos da 2-metacriloiloxietilfosforilcolina (MPC), dimetilamino hexadecil metacrilato (DMAHDM) e nanopartículas de fosfato de cálcio amorfo (NACP) na resistência de união à dentina, propriedades repelentes de proteínas e resposta do biofilme do microcosmo da placa dentária.	Incorporação de MPC e DMAHDM tanto no primer adesivo do SBMP nas seguintes concentrações :7,5% e 5%, em peso, respectivamente + Incorporação de NACP no adesivo do SBMP nas seguintes concentrações : 0%, 20%, 30% e 40%, em peso		microcissalhamento (RUM_c) PROPRIEDADES BIOLÓGICAS: Atividade antibacteriana (Remineralização) Adsorção de proteínas (AP) PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS: Remineralização (RM)	0,1). O grupo 5 (7,5%MPC+5%DMAHDM +40%NACP) apresentou RUM_c menor que o controle SBMP ($p < 0,05$). Portanto, a incorporação de 7,5% de MPC, 5% de DMAHDM e NACP até 30% em SBMP não comprometeu significativamente a RUM_c à dentina. A adição de NACP aumentou bastante a espessura de revestimento adesivo. O adesivo contendo 7,5% MPC + 5% DMAHDM + 30% NACP produziu um revestimento na dentina radicular com espessura de aproximadamente 70 μm e selou completamente todos os túbulos dentinários, sendo esse revestimento maior do que dos demais grupos ($p < 0,05$). A incorporação de MPC no adesivo diminuiu significativamente a quantidade de AP. O controle SBMP teve a maior quantidade de AP, que foi quase 18 vezes maior do que os outros grupos contendo MPC ($p < 0,05$). Imagens de vivo/morto típicas de biofilmes de 2 dias em resina, mostrou que o controle SBMP foi totalmente coberto por bactérias principalmente vivas. Em contraste, os demais grupos mostraram adesão bacteriana visivelmente menor, e os biofilmes consistiam principalmente de bactérias mortas. Na viabilidade quantitativa dos biofilmes de 2 dias em discos de resina foi observado que os biofilmes no controle SBMP tiveram a maior atividade metabólica e a maior produção de ácido láctico. O adesivo contendo MPC+DMAHDM+NACP apresentou atividade metabólica e produção de ácido láctico bem menor, em comparação ao controle SBMP ($p < 0,05$). Em relação a contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) de biofilmes, todas as três contagens (microrganismos totais, (estreptococos totais e streptococos mutans) de UFC na resina contendo MPC-DMAHDM-NACP	DMAHDM para propriedade antibacteriana e NACP para potencial de remineralização pela primeira vez. O adesivo contendo MPC-DMAHDM-NACP selou a dentina radicular com um revestimento resinoso relativamente espesso como uma barreira física para proteger a superfície radicular. O adesivo reduziu muito a adsorção de proteínas, a fixação bacteriana, a viabilidade do biofilme, a atividade metabólica, as contagens de UFC e a produção de ácido láctico, sem comprometer a resistência da união da dentina. Portanto, este novo adesivo é promissor para revestir raízes dentárias onde o cimento está ausente e para idosos com recessão gengival e exposição radicular, para inibir cáries radiculares e cáries secundárias.
--	---	--	--	---	---	---

					foram mais de 4 ordens de magnitude menores do que o controle SBMP ($p < 0,05$).	
--	--	--	--	--	--	--

6 ESTUDO 2 - LIBERAÇÃO DE CÁLCIO POR UM ADESIVO EXPERIMENTAL CONTENDO NANOPARTÍCULAS CERÂMICAS

6.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Um adesivo experimental (AE) foi preparado a partir da mistura de dois monômeros e um sistema fotoiniciador, a qual foi colocada em um agitador magnético por 20 minutos em temperatura ambiente e com umidade controlada. Após a incorporação das nanopartículas cerâmicas, a mistura foi novamente agitada por 2 horas para reduzir a tendência de aglomeração das nanopartículas. A mesma formulação resinosa, sem nanopartícula foi usada como controle (GC). Corpos de prova (Figura 2) foram confeccionados (n=10) a partir de 50 μL dos adesivos colocados em matrizes plásticas transparentes com 7mm de diâmetro e 3mm de altura. Os espécimes foram fotopolimerizados por 40s a uma irradiância de saída de 1000 mW/cm^2 , utilizando um aparelho fotopolimerizador (SmartLite® Focus®, Dentsply Sirona) com um guia de luz com uma ponta de 11 mm de diâmetro. Este procedimento foi realizado com a ponteira do aparelho fotopolimerizador posicionada a uma distância de 1mm da matriz plástica e perpendicular à superfície do espécime.



Figura 2: Corpos de prova confeccionados utilizando matriz plástica transparente.

Então, os espécimes foram armazenados em tubos eppendorf de 5ml contendo 300 μL de água Mili-q por amostra e levados a uma estufa a 37°C por 24 horas. A liberação de íons cálcio foi avaliada por colorimetria utilizando o Kit MAK022 (St. Louis, MO: Sigma-Aldrich Corporation, 2023). A solução de armazenamento de cada espécime foi coletada e mantida a -20°C por 24h.

Então, 10µL da solução padrão de cálcio foi diluído em 990µL de água para a preparação de uma solução padrão de cálcio de 5mM (0,2 µg/µL). Em seguida, foram adicionados a uma placa de 96 poços 0, 2, 4, 6, 8 e 10µL da solução padrão, gerando dessa forma 0 (branco), 0, 4, 0, 8, 1, 2, 1, 6 e 2,0 µg/poços de padrões. Água Mili-Q foi adicionada a cada poço para obtenção um volume final de 50 µL. Cinquenta µL da solução de armazenamento de cada espécime (n=10) foram pipetados e adicionados aos poços. 90 µL do reagente cromogênico foram adicionados a cada poço contendo as amostras e curva padrão e misturados suavemente, em seguida foram adicionados 60 µL do tampão de cálcio. A placa foi protegida da luz com papel alumínio e mantida em temperatura ambiente por 10 minutos. A placa foi lida em um espectrofotômetro (Molecular Devices. SpectraMax M2. San Jose, CA: Molecular Devices, 2023) com uma absorbância a 575nm (A_{575}). O teste foi realizado em duplicata e os valores de cálcio (ug/well) foram calculados com base na curva padrão.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os testes estatísticos foram realizados utilizando o software GraphPad Prism versão 8 (GraphPad Software). Os dados de liberação de cálcio foram testados quanto a distribuição e homogeneidade de variâncias. Um teste-t foi usado para comparar a liberação de cálcio entre os grupos controle e experimental, adotando o nível de significância de 5%.

6.2 RESULTADOS

O teste colorimétrico não apontou presença de cálcio nas amostras pertencentes ao grupo controle ($0 \pm 0,07$ ug/well). Embora, a média de liberação de cálcio pelos espécimes do grupo experimental tenha sido de $0,46 \pm 0,4$ ug/well, não foi identificada diferença estatisticamente significativa entre os grupos após 24 horas de armazenamento (teste-t; $p=0,1658$).

7 DISCUSSÃO

O presente trabalho foi desenvolvido com a finalidade de avaliar os efeitos da incorporação de nanopartículas nas propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas dos adesivos dentinários. Portanto, este trabalho consistiu em uma revisão sistemática e um estudo *in vitro* visando a coleta e a apresentação de evidências que assegurem a efetividade clínica dos adesivos dentinários modificados pelas nanopartículas.

Com base nisso, a presente revisão sistemática foi conduzida de forma a obter evidências para responder à questão clínica: A incorporação de nanopartículas nos adesivos dentinários proporciona melhoria nas propriedades biológicas, físico-químicas e mecânicas destes materiais?

Entre os estudos selecionados para esta revisão, pode se observar que diversos tipos de nanopartículas foram incluídos nos adesivos dentinários com o intuito de aprimorar as propriedades mecânicas destes materiais. Essas nanopartículas têm o potencial fortalecer a união dentina-resina por meio do aumento da resistência máxima à tração, resistência de união ao microcissalhamento e à microtração e resistência flexural. Nanopartículas de prata (Ag) (Torres-Méndez et al. 2017), dióxido de titânio (TiO₂) (Sun et al. 2017, Hong et al. 2022), Zircônia (Zr) (Khan et al. 2023), óxido de grafeno (OG) Maryoosh e Al-Shamma 2020a, 2020b), nanotubos de argila aluminossilicato (Alkathoori et al. 2015) foram algumas das partículas incorporadas que apresentaram resultados estatisticamente significativos na melhoria do desempenho mecânico dos adesivos dentinários. Estes resultados obtidos variaram de um material para outro e de um teste mecânico para outro, com base no tipo, tamanho médio e na concentração da nanopartícula utilizada, associado a composição e as características dos adesivos avaliados.

As propriedades físico-químicas dos adesivos dentinários contendo nanopartículas como o módulo de elasticidade, dureza, liberação de íons, sorção de água, solubilidade e grau de conversão também foram avaliadas em diversos estudos. O grau de conversão é um fator crucial que está relacionado com as características mecânicas, físico-químicas e com o comportamento clínico adequado do material (Alshali et al. 2013, Leitune et al. 2019). Um menor grau

de conversão implica em uma quantidade maior monômeros não sensibilizados pelo processo de polimerização o que pode gerar problemas na performance dos materiais como valores menores de resistência de união, maior porosidade e permeabilidade da interface adesiva e maior eluição dos monômeros (Kanehira et al., 2006; Navarra et al., 2012, Yokesh et al. 2017). Sabe-se que vários fatores podem influenciar o GC como tempo de polimerização, densidade de potência, comprimento de onda, temperatura do meio, cor do compósito, distância entre a lâmpada de luz e a superfície adesiva, quantidade de cargas inorgânicas, espessura da camada de adesivo e tipo de fotoiniciador (Leprince et al. 2014, Garcia et al., 2013).

O grau de conversão está associado com as seguintes propriedades mecânicas e físico-químicas: dureza, resistência de união ao microcissalhamento e à microtração, resistência flexural, módulo de elasticidade, sorção e solubilidade. De uma forma geral, foi observada uma correlação linear negativa entre o grau de conversão e a concentração de algumas nanopartículas (Bin-Shuwaish et al. 2020, Almutairi et al. 2021, Alfaawaz 2022, Akram et al. 2022, Al-Qahtani et al. 2022, Binhasan et al., 2022, Rao et al. 2023, Mokeem et al. 2024), ou seja, à medida que se aumentava a concentração da carga nanométrica, menor era o grau de conversão da matriz resinosa do adesivo dentinário. Dessa maneira, nanopartículas incorporadas em baixas concentrações aos adesivos dentinários apresentavam valores de grau de conversão maior ou igual ao controle. Os resultados dos estudos incluídos nesta revisão que avaliaram de forma simultânea as propriedades citadas acima estão de acordo com achados anteriores que elevados valores de grau de conversão estão associados a maiores valores de dureza, elasticidade, resistência ao microcissalhamento e à microtração e resistência flexural (Ferracane et al. 1985, Lovell et al. 2003, Bae et al. 2005, Hass et al. 2013, Benetti et al. 2014) e menores valores de sorção e solubilidade (Collares et al. 2011). Então, a adição de nanopartículas aos adesivos dentinários em baixas concentrações produz uma camada híbrida menos propensa à degradação (Tay et al. 1999), reduzindo assim a absorção de água e aumentando as propriedades mecânicas e físico-químicas do material (Hosaka et al., 2010, Leitune et al., 2013).

Aos adesivos dentinários também podem ser incorporados nanopartículas cerâmicas como hidroxiapatita (HAP) (Gonapa et al. 2022), fosfato de cálcio amorfo (NACP) (Xie et al. 2017, Yu et al. 2021, Wang et al. 2018, Liang et al. 2018, Keskar et al. 2019, Shi et al. 2019, He et al. 2023), β -fosfato tricálcio (Lima et al. 2024), silicato de cálcio (CS) (Ashtijoo et al. 2022) e vidro bioativo (VB) (Rao et al. 2023, Rizk et al. 2017) com o intuito de promover a remineralização dos tecidos dentinários e proteger a camada híbrida da degradação enzimática ou hidrolítica. No que concerne à remineralização, os estudos que avaliaram os adesivos dentinários contendo estas nanopartículas demonstraram um elevado potencial remineralizador devido à liberação e saturação de íons cálcio e fosfato nos tecidos dentinários o que leva a deposição de apatita. Além disso, a aplicação dessas nanopartículas sobre o colágeno exposto após o condicionamento ácido pode criar um arcabouço mineral ao redor das fibrilas de colágeno prevenindo a sua degradação com o tempo. Apesar do fato que estas nanopartículas apresentam o inconveniente de não atuarem como partículas de reforço (Xu e Moreau 2010, Rodrigues et al. 2015) devido à ausência de interação química com a fase orgânica e a tendência de formar aglomerados com baixa resistência coesiva (Skrtic et al. 1996, Chiari et al. 2015, Rodrigues et al. 2015) alguns estudos demonstraram que não houve comprometimento das características físico-químicas e mecânicas dos adesivos dentinários beneficiados com tais nanopartículas.

A longevidade das restaurações também pode ser afetada pelo acúmulo de biofilme na superfície das resinas e nas zonas adjacentes (Beyth et al. 2007). Desta forma, adesivos dentinários contendo nanopartículas metálicas como cobre (Cu) (Gutiérrez et al. 2017a, Gutiérrez et al. 2017b, Jun et al. 2018, Altankhishig et al. 2022), óxido de zinco (ZnO) (Saffarpour et al. 2016, Gutiérrez et al. 2019a, Gutiérrez et al. 2019b, Garcia et al. 2021a), prata (Ag) (Shafiei et al. 2018, Yang et al. 2021), iodeto de cobre (CuI) (Sabatini, et al. 2015), dióxido de titânio (TiO₂) (Shafiei et al. 2018, Al-Badr et al. 2023) foram avaliados quanto as suas propriedades antibacterianas e inibitórias de MMPs uma vez que tais nanopartículas estão entre os agentes mais promissores que exibem atividade química e bactericida (Essa & Khallaf 2016, Morones et al. 2005). O desenvolvimento de sistemas adesivos com propriedades antibacterianas tem o

intuito de reduzir a adesão bacteriana, a produção de ácido láctico e a formação de biofilme na interface dente-restauração uma vez que estes materiais estão em contato direto com a estrutura dentária, por estar na interface dente restauração, e podem funcionar como um dispensador de agentes antibacterianos, sendo, portanto, promissores em reduzir a ocorrência de lesões de cárie secundárias (Imazato 2003, Li et al. 2009). Uma hipótese da ação antimicrobiana dessas cargas nanométricas é baseada no efeito de permeabilidade da célula que por meio das interações eletrostáticas das nanopartículas carregada positivamente com as superfícies celulares das bactérias carregadas negativamente, resultando em sua penetração na membrana, causando ruptura da membrana, perda nos componentes intracelulares como eletrólitos e proteínas e redução da viabilidade (Li et al. 2009a, Li et al. 2009b, Cao et al. 2018, Kozmos et al. 2021). Os estudos da presente revisão encontraram resultados significativos quanto à atividade antimicrobiana principalmente contra *Streptococcus Mutans*, com efeito equivalente ou superior a outros antimicrobianos padrão-ouro, sem interferência em suas características físico-química e mecânica. Além disso, alguns estudos associaram nanopartículas com potencial remineralizador e antibacteriana em uma mesma formulação adesiva para otimizar a utilização dos adesivos dentinários (Choi et al. 2020; Jun et al. 2018).

Segundo os estudos que analisaram os adesivos contendo nanopartículas Cu e Zn em relação a propriedade inibitória de MMPs foi observado que estas nanopartículas inibiram de forma efetiva as MMPs sem trazer prejuízos a integridade da camada híbrida. A literatura tem demonstrado que o cobre pode aumentar a força da matriz de colágeno presente na camada híbrida pois a enzima de reticulação do colágeno, a lisil oxidase (LOX), é dependente de cobre (Rucker et al. 1998, Marelli et al. 2015). Assim, este efeito indireto do cobre como agente reticulador torna as fibrilas de colágeno menos suscetível aos efeitos de enzimas proteolíticas, como as MMPs (Sabatini et al. 2015). A incorporação de zinco também protegeu as fibrilas colágenas da atividade de MMPs pois como as MMPs são enzimas proteolíticas zinco-dependentes, elas precisam de íons Zn^{+2} em sua estrutura para serem ativadas. No entanto, o Zn^{+2} pode se unir aos sítios de clivagem de collagenase em moléculas de colágeno sendo

considerado como um competitivo inibidor das MMPs e exercendo um efeito de proteção por reduzir a degradação das fibrilas de colágeno mediada pelas mesmas (Toledano et al. 2013). Além disso, um estudo mostrou que a incorporação de óxido de zinco (ZnO) favoreceu a mineralização da dentina devido a formação de cristais de hidroxiapatita nas fibrilas de colágeno o que intensificou o efeito reticulador de tal nanopartícula, fato já relatado por outros estudos na literatura (Osorio et al. 2011, Toledano et al. 2013).

Neste âmbito, destaca-se também os estudos que avaliaram a incorporação de nanopartículas a base de grafeno, como o óxido de grafeno (GO) (Alshahrani et al. 2020, Bin-Shuwaish et al. 2020, Maryoosh e Al-Shamma 2020a, Maryoosh e Al-Shamma 2020b, Almutairi et al. 2021, Arslan et al. 2024) e as nanoplaquetas de grafeno (GNP) (Bregnocch et al. 2017) nas formulações adesivas uma vez que tais cargas apresentaram excelente atividade antibacteriana e resistência mecânica. Estas nanopartículas são consideradas bastantes eficazes principalmente na capacidade antimicrobiana sendo que a ação desta carga nanométrica contra os patógenos acontece por meio dos seguintes mecanismos: encapsulamento das células bacterianas, causando estresse mecânico e interferindo na absorção de nutrientes; perfuração e rompimento das membranas celulares com as suas bordas afiadas; e, por fim, a geração de estresse oxidativo (Bregnocchi et al. 2017). Em outro estudo, este material também se mostrou eficiente ao ser utilizado como substrato para o transporte de nanopartículas de prata já que ele favorece a liberação gradual de íons de prata na inibição de cárie por *Streptococcus mutans* (Akram et al. 2022).

Um sistema de entrega de drogas (drug delivery) com nanopartículas impregnadas com determinadas substâncias também foi analisada pelos estudos desta revisão. Adesivos dentinários contendo nanocarreadores como nanopartícula de sílica mesopora (NSM) (Jun et al. 2018, Choi et al. 2020, Alkhazaleh et al. 2022, López-Ruiz et al. 2022, Rao et al. 2023, Mokeem et al. 2024), nanotubos de haloisita (HNT) (Palasuk et al. 2018, Feitosa et al. 2019, Garcia et al. 2020, Kalagi et al. 2020, Stürmer et al. 2021) e nitreto de boro (BNT) (Degrazia et al., 2017) e dendrímeros de poliamidoamina (PAMAM) (Liang et al. 2018, Cai et al. 2022, Rao et al. 2023) carregadas com agentes antimicrobianos, nanopartículas, agentes reticuladores e aminoácidos foram avaliados quanto a

sua capacidade de transporte e liberação destas substâncias e propriedades físico-químicas e mecânicas. A NSM tem sido utilizada em função da sua ampla área de superfície, tamanho de poros usualmente em torno de 4,6 a 30nm e de sua excelente performance térmica e química sendo assim um material adequado para incorporar e liberar uma grande variedade de moléculas (Tian et al. 2014, Li et al. 2017, Chen et al. 2020). Já HNT e BNT são amplamente utilizados como nanocarreadores devido a suas propriedades físico-químicas como, por exemplo, estrutura tubular perfeita, troca de íons e hidrofobicidade, e mecânicas, que são melhoradas pela inclusão deste material inorgânico na matriz polimérica (Elkassas & Arafa 2017, Chen et al. 2020, Liu et al. 2014). E por último, os dendrímeros de PAMAM que são nanopartículas altamente ramificadas, com alta solubilidade e baixa toxicidade e apresentam grupos terminais de amidas secundárias que podem ser modificados em vários grupos funcionais como transportadores de entrega de fármacos e desempenhar funções antibacteriana e de remineralização de forma simultânea (Zhou et al. 2014, Liang et al. 2018, Chen et al. 2020).

Adicionalmente, alguns estudos também analisaram a modificação da superfície da nanopartícula no sentido de obter melhores propriedades mecânicas, físico-químicas e biológicas uma vez que tal modificação propicia uma dispersão homogênea apropriada e uma melhor interação química das nanopartículas com a matriz resinosa; reduzindo, desta maneira, a tendência de criar ligações entre si e formar aglomerados (Jandt et al. 2009, Hamouda, 2012; Bastos et al., 2021). A aglomeração reduz a área superficial e a reatividade das nanopartículas, além de alterar suas características mecânicas, biológicas e físico-químicas e comprometer a obtenção de propriedades desejáveis para um bom desempenho clínico dos adesivos dentinários (Durner et al. 2011, Cheng et al. 2013; Abou et al. 2015, Verma et al. 2018). Os estudos avaliados demonstraram que o tratamento da superfície das nanopartículas com organossilanos como metacriloxipropiltrimetoxisilano (MPTMS) (Azad et al. 2018, Maryoosh e Al-Shamma 2020b, Aljamhan et al. 2022, Alkhazaleh, et al. 2022) e silano de amônio quaternário (Mokeem et al. 2024) e com os ácidos acrílico (Sucală et al. 2018, Wang et al. 2018, Solhi et al. 2021), metacrílico (Solhi et al. 2020, Solhi et al. 2021, Rizk et al. 2017) e carboxílico (Sun et al. 2017) é

uma estratégia promissora e eficaz para obter e evidenciar a superioridade das propriedades mecânicas dos materiais.

Nesta revisão sistemática identificaram-se somente 4 ensaios clínicos controlados, sendo que 2 avaliaram a redução da sensibilidade pós-operatória após procedimento restaurador com adesivos contendo nanopartículas de titânio (Amir et al. 2024) e de vidro bioativo (Aboelenein et al. 2019) e 2 analisaram o desempenho clínico a longo prazo de adesivos contendo nanopartículas de cobre (Matos et al. 2019, Matos et al. 2023) segundo a estratégia de aplicação (ER ou SE). Apesar de ter sido relatados resultados promissores nestes estudos, o número de ensaios clínicos (n=4) é muito pequeno em relação aos estudos in vitro (n=119) já que os ensaios clínicos ratificam os resultados obtidos nos estudos in vitro.

Desta maneira, a hipótese nula desta revisão sistemática foi rejeitada uma vez que as nanopartículas avaliadas em nível laboratorial apresentaram resultados promissores em baixas concentrações, porém mais ensaios clínicos são necessários para ratificar esses achados. Assim, esta revisão sistemática direciona para a necessidade de realização de mais estudos clínicos controlados para evidenciar os resultados promissores obtidos nos estudos in vitro.

Nanopartículas cerâmica podem liberar íons cálcio e fosfato favorecendo a remineralização do esmalte e da dentina ((Nizami et al. 2022)). Embora tenha sido encontrado cálcio na solução de armazenamento do grupo experimental ($0,46 \pm 0,4$ ug/well), não foi suficiente para apontar diferença estatística em comparação ao grupo controle. Então, a hipótese nula do estudo in vitro foi aceita visto que não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre os grupos testados. Isso provavelmente ocorreu devido ao curto período de armazenamento dos espécimes (24 horas). As nanopartículas cerâmicas presentes na formulação apresentam diferentes graus de estabilidade em água e, o fato de estarem embebidas em uma matriz resinosa polimerizada, reduz o contato com a água de armazenamento, diminuindo a velocidade de hidrólise. Assim, testes futuros, utilizando a mesma formulação, irão medir a concentração de cálcio liberada ao longo do tempo, considerando períodos mais longos de armazenamento.

CONCLUSÃO

A adição de nanopartículas nos adesivos dentinários é uma abordagem viável em baixas concentrações e pode ser uma alternativa para promover melhores propriedades físico-químicas, biológicas e mecânicas e, aumentar a estabilidade da interface resina-dentina, o desempenho clínico dos adesivos dentinários e a longevidade do tratamento restaurador. O adesivo experimental formulado foi capaz de liberar cálcio no meio de armazenamento. No entanto, a liberação ocorre de forma lenta, não sendo significativa nas primeiras 24 horas. Assim sendo, estes nanomateriais têm grande interesse clínico e são esperados mais estudos dentro desta área da nanotecnologia de maneira a colmatar as limitações dos adesivos dentinários atuais beneficiados com a incorporação de nanopartículas e a providenciar ao cirurgião dentista uma maior longevidade do tratamento restaurador.

REFERÊNCIAS

ABOELENEIN, A. Z.; RIAD, M. I.; HARIDY, M. F. Effect of a Self-Etch Adhesive Containing Nanobioglass on Postoperative Sensitivity of Posterior Composite Restorations - A Randomized Trial. Open Access Macedonian **Journal of Medical Sciences**, v. 7, n. 14, p.2313-2320, 2019.

ABOU NEEL, E. A.; BOZEC, L.; PEREZ, R. A.; KIM, H. W.; KNOWLES, J. C. Nanotechnology in dentistry: prevention, diagnosis, and therapy. **International Journal of Nanomedicine**, p. 6371-6394, 2015.

AGEE, K. A.; PRAKKI, A.; ABU-HAIMED, T.; NAGUIB, G. H.; NAWAREG, M. A.; TEZVERGIL-MUTLUAY, A.; SCHEFFEL, D. L.; CHEN, C.; JANG, S. S.; HWANG, H.; BRACKETT, M.; GRÉGOIRE, G.; TAY, F. R.; BRESCHI, L.; PASHLEY, D. H. Water distribution in dentin matrices: bound vs. unbound water. **Dental Materials**, v. 31, n. 3, p. 205-216, 2015.

AGHA, B. H.; HAMASAEED, N. H.; HUSSAIN, F. H. S. Novel incorporation of charged hydroxyapatite nanoparticles into resin adhesive. **Cellular and Molecular Biology (Noisy-le-Grand, France)**, v. 69, n.1, p.149-154, 2023.

AGUIAR, J. D.; PEDROSA, M. D. S.; TOMA, S. H.; ARAKI, K.; MARQUES, M. M.; MEDEIROS, I. S. Antibacterial effect, cytotoxicity, and bond strength of a modified dental adhesive containing silver nanoparticles. **Odontology**, v. 111, n. 2, p. 420-427, 2023.

AKRAM, Z.; AATI, S.; CLODE, P.; SAUNDERS, M.; NGO, H.; FAWZY, A. S. Formulation of nano-graphene doped with nano silver modified dentin bonding agents with enhanced interfacial stability and antibiofilm properties. **Dental Materials**, v.38, n.2, p.347-362, 2022.

AL-BADR, R. J.; SHAMASH, M. S. A.; AL-ABBAS, M. A. F. A. Titanium Dioxide Nanoparticles Enhanced the antibacterial Activity of two Dental Bonding Agents.

Journal of Natural Science, Biology and Medicine, v. 14, n. 2, p.214-220, 2023.

ALFAAWAZ, Y.F.; ALAMRI, R.; ALMOHSEN, F.; SHABAB, S.; ALHAMDAN, M. M.; AL AHDAL, K.; FAROOQ, I.; VOHRA, F.; ABDULJABBAR, T. Adhesive Bond Integrity of Experimental Zinc Oxide Nanoparticles Incorporated Dentin Adhesive: An SEM, EDX, μ TBS, and Rheometric Analysis. **Scanning**, v. 2022, n. 1, p. 3477886, 2022.

ALJAMHAN, A. S.; ALREFEAI, M. H.; ALHABDAN, A.; ALZEHIRI, M. H.; NASEEM, M.; VOHRA, F.; ALKHUDHAIRY, F. Interaction of zirconium oxide nanoparticle infiltrated resin adhesive with dentin conditioned by phosphoric acid and Er, Cr: YSGG laser. **Journal of Applied Biomaterials & Functional materials**, v. 20, p. 22808000221087349, 2022.

ALKATHEERI, M. S.; PALASUK, J.; ECKERT, G. J.; PLATT, J. A.; BOTTINO, M. C. Halloysite nanotube incorporation into adhesive systems—effect on bond strength to human dentin. **Clinical Oral Investigations**, v.19, n.8, p.1905–1912, 2015.

ALKHAZALEH, A.; ELFAGIH, S.; CHAKKA, L. R. J.; ARMSTRONG, S. R.; COMNICK, C. L.; QIAN, F.; SALEM, A. K.; GUYMON, C. A.; HAES, A. J.; VIDAL, C. M. P. Development of Proanthocyanidin-Loaded Mesoporous Silica Nanoparticles for Improving Dental Adhesion. **Molecular Pharmaceutics**, v.19, n.12, p.4675–4684, 2022.

ALKHUDHAIRY, F.; ALREFEAI, M. H. Self-Etch Adhesive-Loaded $\text{ZrO}_2/\text{Ag}_3\text{PO}_4$ Nanoparticles on Caries-Affected Dentin: A Tensile Bond Strength, Scanning Electron Microscopy, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, Survival Rate Assessment of *S. mutans*, and Degree of Conversion Analysis. **Applied Sciences**, v. 14, n. 2, p. 563, 2024.

ALMUTAIRI, B.; KATTAN, H. F.; BINMAHFOOZ; A. M.; QUTUB, O. A.; BASUNBUL, G.; ARREJAIE, A. S.; FAROOQ, I.; VOHRA, F.; ABDULJABBAR,

T. Synergistic effect of graphene oxide/calcium phosphate nanofiller in a dentin adhesive on its dentin bond integrity and degree of conversion. A scanning electron microscopy, energy dispersive X-ray spectroscopy, Fourier transform infrared, micro-Raman, and bond strength study. **Microscopy Research and Technique**, v.84, n.9, p.2082–2094, 2021.

AL-QAHTANI, A. S.; TULBAH, H. I.; BINHASAN, M.; SHABIB, S.; AL-AALI, K. A.; ALHAMDAN, M. M.; ABDULJABBAR, T. Influence of Concentration Levels of β Tricalcium Phosphate on the Physical Properties of a Dental Adhesive. **Nanomaterials (Basel, Switzerland)**, v.12, n.5, p.853, 2022.

AL-QARNI, F. D.; TAY, F.; WEIR, M. D.; MELO, M. A. S.; SUN, J.; OATES, T. W.; XIE, X.; XU, H. H. K. Protein-repelling adhesive resin containing calcium phosphate nanoparticles with repeated ion-recharge and re-releases. **Journal of Dentistry**, v.78, p.91–99, 2018.

AL-QARNI, F.; WEIR, M.; MELO, M. A.; AL-DULAIJAN, Y.; ALMULHIM, K. S.; XU, H. H. K. Novel calcium phosphate ion-rechargeable and antibacterial adhesive to inhibit dental caries. **Clinical Oral Investigations**, v.26, n.1, p.313–323, 2022.

ALSHAHRANI, A.; BIN-SHUWAISH, M. S.; AL-HAMDAN, R. S.; ALMOHAREB, T.; MAAWADH, A. M.; AL DEEB, M.; ALHENAKI, A. M.; ABDULJABBAR, T.; VOHRA, F. Graphene oxide nano-filler based experimental dentine adhesive. A SEM / EDX, Micro-Raman and microtensile bond strength analysis. **Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials**, v. 18, p. 2280800020966936, 2020.

ALSHALI, R. Z.; SILIKAS, N.; SATTERTHWAITE, J. D. Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. **Dental Materials**, v. 29, n. 9, p. e213-e217, 2013.

ALSUNBUL, H.; ALFAWAZ, Y. F.; ALHAMDAN, E. M.; FAROOQ, I.; VOHRA, F.; ABDULJABBAR, T. Influence of carbon and graphene oxide nanoparticle on the

adhesive properties of dentin bonding polymer: A SEM, EDX, FTIR study. **Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials**, v. 21, p. 22808000231159238, 2023.

ALTANKHISHIG, B.; MATSUDA, Y.; NAGANO-TAKEBE, F.; OKUYAMA, K.; YAMAMOTO, H.; SAKURAI, M.; NAITO, K.; HAYASHI, M.; SANO, H.; SIDHU, S. K.; SAITO, T. Potential of Fluoride-Containing Zinc Oxide and Copper Oxide Nanocomposites on Dentin Bonding Ability. **Nanomaterials**, v. 12, n. 8, p. 1291, 2022.

AMIR N, MANSOOR A, NOOR N, HUSSAIN K. Clinical Efficacy of a Novel Titania Nanoparticle-Reinforced Bonding Agent in Reducing Post-Restorative Sensitivity: A randomized clinical trial. **Pakistan Journal of Medical Sciences**, v. 40, n. 7, p. 1332, 2024.

ARSLAN, S.; EKRIKAYA, S.; ILDIZ, N.; YUSUFBEYOGLU, S.; OCSOY, İ. Evaluation of the antibacterial activity of dental adhesive containing biogenic silver nanoparticles decorated nanographene oxide nanocomposites (Ag@nGO NCs) and effect on bond strength to dentine. **Odontology**, v. 112, n. 2, p. 341-354, 2024.

ASHTIJOO, Z.; PISHEVAR, L.; MALEKIPOURMALEKIPOUR, M. R.; KHODAEI, M.; SABOURI, Z. Comparative evaluation of incorporation calcium silicate and calcium phosphate nanoparticles on biomimetic dentin remineralization and bioactivity in an etch-and-rinse adhesive system. **Journal of Clinical and Experimental Dentistry**, v. 14, n. 11, p. e903, 2022.

AZAD, E.; ATAI, M.; ZANDI, M.; SHOKROLLAHI, P.; SOLHI, L. Structureproperties relationships in dental adhesives: Effect of initiator, matrix monomer structure, and nano-filler incorporation. **Dental Materials**, v. 34, n. 9, p. 1263- 1270, 2018.

BAE, J. H.; CHO, B. H.; KIM, J. S.; KIM, M. S.; LEE, I. B.; SON, H. H.; UM, C. M.; KIM, C. K.; KIM, O. Y. Adhesive layer properties as a determinant of dentin bond

strength. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials**, v. 74, n. 2, p. 822-828, 2005.

BASTOS, N. A.; BITENCOURT, S. B.; MARTINS, E. A.; DE SOUZA, G. M. Review of nano-technology applications in resin-based restorative materials. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 33, n. 4, p. 567- 582, 2021.

BARCELLOS, D. C.; FONSECA, B. M.; PUCCI, C. R., CAVALCANTI, B.D, PERSICI, E.DES., GONÇALVES, S. E. Zn-doped etch-and-rinse model dentin adhesives: Dentin bond integrity, biocompatibility, and properties. **Dental Materials**, v. 32, n. 7, p. 940-950, 2016.

BENETTI, A. R.; PEUTZFELDT, A.; LUSSI, A.; FLURY, S. Resin composites: Modulus of elasticity and marginal quality. **Journal of Dentistry**, v. 42, n. 9, p. 1185-1192, 2014.

BERTASSONI, L. E.; ORGEL, J. P. R.; ANTIPOVA, O.; SWAIN, M. V. The dentin organic matrixlimitations of restorative dentistry hidden on nanometer scale. **Acta Biomaterialia**, v. 8, n. 7, p. 2419-2433, 2012.

BEYTH, N.; DOMB, A. J.; WEISS, E. I. An in vitro quantitative antibacterial analysis of amalgam and composite resins. **Journal of Dentistry**, v. 35, n. 3, p. 201-206, 2007.

BHADILA, G.; DAI, Q.; MELO, M. A. S.; ZHANG, C.; OATES, T. W.; WEIR, M. D.; XU, H. H. Anti-caries nanostructured dental adhesive reduces biofilm pathogenicity and raises biofilm pH to protect tooth structures. **Journal of Materials Research**, v. 36, p. 533-546, 2021.

BINHASAN, M.; AL-HABEEB, K. M.; ALMUQBIL, A. S.; ALHAIDARY, T. A.; ALFAWAZ, Y. F.; FAROOQ, I., ABDULJABBAR, T. Assessment of the physical

properties of an experimental adhesive dentin bonding agent with carbon nanoparticles. **Crystals**, v. 12, n. 10, p. 1441, 2022.

BIN-SHUWAISH, M. S.; MAAWADH, A. M.; AL-HAMDAN, R. S.; ALRESAYES, S.; ALI, T.; ALMUTAIRI, B.; ABDULJABBAR, T. Influence of graphene oxide filler content on the dentin bond integrity, degree of conversion and bond strength of experimental adhesive. A SEM, micro-Raman, FTIR and microtensile study. **Materials Research Express**, v. 7, n. 11, p. 115403, 2020.

BOTELHO, L. P.; DIAS DE OLIVEIRA, S. G.; DOUGLAS DE OLIVEIRA, D. W.; GALO, R. Microtensile resistance of an adhesive system modified with chitosan nanoparticles. **Journal of Conservative Dentistry and Endodontics**, v. 25, n. 3, p. 278-282, 2022.

BREGNOCCHI, A.; ZANNI, E.; UCCELLETTI, D.; MARRA, F.; CAVALLINI, D.; DE ANGELIS, F.; DE BELLIS, G.; BOSSÙ, M.; IERARDO, G.; POLIMENI, A.; SARTO, M. S. Graphene-based dental adhesive with anti-biofilm activity. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 15, p. 1-13, 2017.

BRESCHI, L.; MARAVIC, T.; CUNHA, S. R.; COMBA, A.; CADENARO, M.; TJÄDERHANE, L.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R.; MAZZONI, A. Dentin bonding systems: from dentin collagen structure to bond preservation and clinical applications. **Dental Materials**, v. 34, n. 1, p. 78-96, 2018.

BURKE, F. T., LAWSON, A., GREEN, D. J., & MACKENZIE, L. What's new in dentine bonding?: universal adhesives. **Dental Update**, v. 44, n. 4, p. 328-340, 2017.

CADENARO, M.; MARAVIC, T.; COMBA, A.; MAZZONI, A.; FANFONI, L.; HILTON, T.; FERRACANE, J.; BRESCHI, L. The role of polymerization in adhesive dentistry. **Dental Materials**, v. 35, n. 1, p. e1-e22, 2019.

CAI, X., WANG X. Chlorhexidine-loaded poly (amido amine) dendrimer and a dental adhesive containing amorphous calcium phosphate nanofillers for enhancing bonding durability. **Dental Materials**, v. 38, n. 5, p. 824-834, 2022.

CAO, W.; ZHANG, Y.; WANG, X.; LI, Q.; XIAO, Y.; LI, P.; WANG, L.; YE, Z.; XING, X. Novel resin-based dental material with anti-biofilm activity and improved mechanical property by incorporating hydrophilic cationic copolymer functionalized nanodiamond. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 29, p. 1-13, 2018.

CARVALHO, E. V.; DE PAULA, D. M.; ANDRADE NETO, D. M.; COSTA, L. S.; DIAS, D. F.; FEITOSA, V. P.; FECHINE, P. B. A. Radiopacity and mechanical properties of dental adhesives with strontium hydroxyapatite nanofillers. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 101, p. 103447, 2020.

CASTRO, M.; FERNÁNDEZ, E.; FLUXÁ, P. P.; GIL, A. M. C.; GREZ, P. V. Antimicrobial effect against streptococcus mutans of an adhesive system with copper and zinc oxide nanoparticles. **Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas**, v. 39, n. 4, p. 1-14, 2020.

CHEN, C.; WEIR, M. D.; CHENG, L.; LIN, N. J.; LIN-GIBSON, S.; CHOW, L. C.; ZHOU, X.; XU, H. H. Antibacterial activity and ion release of bonding agent containing amorphous calcium phosphate nanoparticles. **Dental Materials**, v. 30, n. 8, p. 891-901, 2014.

CHEN, H.; GU, L.; LIAO, B.; ZHOU, X.; CHENG, L.; REN, B. Advances of AntiCaries Nanomaterials. **Molecules**, v. 25, n. 21, p. 5047, 2020.

CHENG, L.; ZHANG, K.; WEIR, MD.; LIU, H.; ZHOU. X.; XU, H. H. Effects of antibacterial primers with quaternary ammonium and nano-silver on Streptococcus Mutans impregnated in human dentin blocks. **Dental Materials**, v. 29, n. 4, p. 462-472, 2013.

CHIARI, M. D.; RODRIGUES, M. C.; XAVIER, T. A.; DE SOUZA, E. M.; ARANACHAVEZ, V. E.; BRAGA, R. R. Mechanical properties and ion release from bioactive restorative composites containing glass fillers and calcium phosphate nano-structured particles. **Dental Materials**, v. 31, n. 6, p. 726-733, 2015.

CHOI, Y.; SUN, W.; KIM, Y.; KIM, I. R.; GONG, M. K.; YOON, S. Y.; BAE, M. K.; PARK, B. S.; PARK, S. B.; KIM, Y. I. Effects of Zn-Doped Mesoporous Bioactive Glass Nanoparticles in Etch-and-Rinse Adhesive on the Microtensile Bond Strength. **Nanomaterials**, v. 10, n. 10, p. 1943, 2020.

COLLARES, F. M.; OGLIARI, F. A.; ZANCHI, C. H.; PETZHOLD, C. L.; PIVA, E.; SAMUEL, S. M. Influence of 2-hydroxyethyl methacrylate concentration on polymer network of adhesive resin. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v. 13, n. 2, p. 125-9, 2011.

DADKAN, S.; KHAKBIZ, M.; GHAZANFARI, L.; CHEN, M.; LEE, K. B. Evaluation of antibacterial and mechanical features of dental adhesives containing colloidal gold nanoparticles. **Journal of Molecular Liquids**, v. 365, p. 119824, 2022.

DEGRAZIA, F. W.; LEITUNE, V. C. B.; SAMUEL, S. M. W.; COLLARES, F. M. Boron nitride nanotubes as novel fillers for improving the properties of dental adhesives. **Journal of Dentistry**, v. 62, p. 85-90, 2017.

DEGRAZIA, F. W.; LEITUNE, V. C. B.; VISIOLI, F.; SAMUEL, S. M. W.; COLLARES, F. M. Long-term stability of dental adhesive incorporated by boron nitride nanotubes. **Dental Materials**, v. 34, n. 3, p. 427-433, 2018.

DURNER, J.; STOJANOVIC, M.; URCAN, E.; HICKEL, R.; REICHL, F. X. Influence of silver nano-particles on monomer elution from light-cured composites. **Dental Materials**, v. 27, n. 7, p. 631-636, 2011.

DUTRA-CORREA, M.; LEITE, A. A. B. V.; DE CARA, S. P. H. M.; DINIZ, I. M. A.; MARQUES, M. M.; SUFFREDINI, I. B.; FERNANDES, M. S.; TOMA, S. H.;

ARAKI, K.; MEDEIROS, I. S. Antibacterial effects and cytotoxicity of an adhesive containing low concentration of silver nanoparticles. **Journal of Dentistry**, v. 77, p. 66-71, 2018.

EKRIKAYA, S.; YILMAZ, E.; ARSLAN, S.; KARAASLAN, R.; ILDIZ, N.; CELIK, C.; OCSOY, I. Dentin bond strength and antimicrobial activities of universal Tese de Doutorado 134 adhesives containing silver nanoparticles synthesized with Rosa canina extract. **Clinical Oral Investigations**, v. 27, n. 11, p. 6891-6902, 2023.

ELKASSAS, D.; ARAFA, A. The innovative applications of therapeutic nanostructures in dentistry. Nanomedicine: Nanotechnology, **Biology and Medicine**, v. 13, n. 4, p. 1543-1562, 2017.

ESSA, A.M.; KHALLAF, M.K. Antimicrobial potential of consolidation polymers loaded with biological copper nanoparticles. **BMC Microbiology**, v. 16, p. 1-8, 2016.

ESTEBAN FLOREZ, F. L.; HIERS, R. D.; LARSON, P.; JOHNSON, M.; O'REAR, E.; RONDINONE, A. J.; KHAJOTIA, S. S. Antibacterial dental adhesive resins containing nitrogen-doped titanium dioxide nanoparticles. **Materials Science & Engineering C-Materials for Biological Applications**, v. 93, p. 931-943, 2018.

ESTEBAN FLOREZ, F. L.; TROFIMOV, A. A.; IEVLEV, A.; QIAN, S.; RONDINONE, A. J.; KHAJOTIA, S. S. Advanced characterization of surfacemodified nanoparticles and nanofilled antibacterial dental adhesive resins. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 9811, 2020a.

ESTEBAN FLOREZ, F. L.; KRAEMER, H.; HIERS, R. D.; SACRAMENTO, C. M.; RONDINONE, A. J.; SILVÉRIO, K. G.; KHAJOTIA, S. S. Sorption, solubility and cytotoxicity of novel antibacterial nanofilled dental adhesive resins. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 13503, 2020b.

FADHIL, M. A.; AL-SHAMMA, A. M. Hybrid layer thickness and resin tags penetration of two universal adhesives incorporated with ascorbic acid coated superparamagnetic nanoparticles subjected to external magnetic field. **International Journal of Pharmaceutical Research**, n. 1, 2020.

FALLAHZADEH, F.; SAFARZADEH-KHOSROSHAHI, S.; ATAI, M. Dentin bonding agent with improved bond strength to dentin through incorporation of sepiolite nanoparticles. **Journal of Clinical and Experimental Dentistry**, v. 9, n. 6, p. e738, 2017.

FEITOSA, S. A.; PALASUK, J.; GERALDELI, S.; WINDSOR, L. J.; BOTTINO, M. C. Physicochemical and biological properties of novel chlorhexidine-loaded nanotube-modified dentin adhesive. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 107, n. 3, p. 868-875, 2019.

FERRACANE, J. L. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. **Dental Materials**, v. 1, n. 1, p. 11-14, 1985.

FRASSETTO, A.; BRESCHI, L.; TURCO, G.; MARCHESI, G.; DI LENARDA, R.; TAY, F. R.; PASHLEY, D. H.; CADENARO, M. Mechanisms of degradation of the hybrid layer in adhesive dentistry and therapeutic agents to improve bond durability - A literature review. **Dental Materials**, v. 32, n. 2, p. e41-e53, 2016.

GARCIA, I. M.; BALHADDAD, A. A.; IBRAHIM, M. S.; WEIR, M. D.; XU, H. H. K.; COLLARES, F. M.; MELO, M. A. S. Antibacterial response of oral microcosm biofilm to nano-zinc oxide in adhesive resin. **Dental Materials**, v. 37, n. 3, p. e182-e193, 2021a.

GARCIA, I. M.; BALHADDAD, A. A.; LAN, Y.; SIMIONATO, A.; IBRAHIM, M. S.; WEIR, M. D.; MASRI, R.; XU, H. H. K.; COLLARES, F. M.; MELO, M. A. S. Magnetic motion of superparamagnetic iron oxide nanoparticles- loaded dental adhesives: physicochemical/biological properties, and dentin bonding

performance studied through the tooth pulpal pressure model. **Acta Biomaterialia**, v. 134, p. 337-347, 2021b.

GARCIA, I. M.; LEITUNE, V. C. B.; SAMUEL, S. M. W.; COLLARES, F. M. Influence of Different Thickness in the Degree of Conversion of an Adhesive Resin. **Revista da Faculdade de Odontologia de Porto Alegre**, v. 54, n. 1-3, p. 11-13, 2013.

GARCIA, I. M.; LEITUNE, V. C. B.; VISIOLI, F.; SAMUEL, S. M. W.; COLLARES, F. M. Influence of zinc oxide quantum dots in the antibacterial activity and cytotoxicity of an experimental adhesive resin. **Journal of Dentistry**, v. 73, p. 57-60, 2018.

GARCIA, I. M.; LEITUNE, V. C.; KIST, T. L.; TAKIMI, A.; SAMUEL, S. M.; COLLARES, F. M. Quantum Dots as Nonagglomerated Nanofillers for Adhesive Resins. **Journal of Dental Research**, v. 95, n. 12, p. 1401-1407, 2016.

GARCIA, I. M.; SOUZA, V. S.; HELLRIEGEL, C.; SCHOLTEN, J. D.; COLLARES, F. M. Ionic Liquid-Stabilized Titania Quantum Dots Applied in Adhesive Resin. **Journal of Dental Research**, v. 98, n. 6, p. 682-688, 2019.

GARCIA, I. M.; LEITUNE, V. C. B.; ARTHUR, R. A.; NUNES, J.; VISIOLI, F.; GIOVARRUSCIO, M.; SAURO, S.; COLLARES, F. M. Chemical, mechanical and biological properties of an adhesive resin with alkyl trimethyl ammonium bromideloaded halloysite nanotubes. **The Journal of Adhesive Dentistry**, vol. 22, n. 4, 2020.

GENARI, B.; LEITUNE, V. C. B.; JORNADA, D. S.; CAMASSOLA, M.; ARTHUR, R. A.; POHLMANN, A. R.; GUTERRES, S. S.; COLLARES, F. M.; SAMUEL, S. M. W. Antimicrobial effect and physicochemical properties of an adhesive system containing nanocapsules. **Dental Materials**, v. 33, n. 6, p. 735-742, 2017.

GONAPA, P.; SAJJAN, G. S.; BHUPATHI, A.; PODUGU, U. K.; SUNDAR, S.; GONDI, D.; RATHOD, R. T. Evaluation of Bond Durability, Surface Morphology,

and Remineralization at the Adhesive Interface with Dentin Bonding Agents Modified with Silica-doped Nanohydroxyapatite. **Contemporary Clinical Dentistry**, v. 13, n. 4, p. 356-362, 2022.

GUL, N.; IDREES, Q. T. A.; FAREED, M. A.; MIAN, S. A.; NASIM, H. M. O.; NAZ, F.; ALDAHLAN, B.; KHAN, A. Biological and Physicochemical Characterization of Self-Adhesive Protective Coating Dental Restorative Material after Incorporation of Antibacterial Nanoparticles. **Polymers**, v. 14, n. 20, p. 4280, 2022.

GUOZHONG, C. Nanostructures and nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications. **London: Imperial College Press**, 2004. 433 p.

GUTIÉRREZ, M. F.; ALEGRÍA-ACEVEDO, L. F.; MÉNDEZ-BAUER, L.; BERMUDEZ, J.; DÁVILA-SÁNCHEZ, A.; BUVINIC, S.; HERNÁNDEZ-MOYA, N.; REIS, A.; LOGUERCIO, A. D.; FARAGO, P. V.; MARTIN, J.; FERNÁNDEZ, E. Biological, mechanical and adhesive properties of universal adhesives containing zinc and copper nanoparticles. **Journal of Dentistry**, v. 82, p. 45-55, 2019a.

GUTIÉRREZ, M. F.; BERMUDEZ, J.; DÁVILA-SÁNCHEZ, A.; ALEGRÍA-ACEVEDO, L. F.; MÉNDEZ-BAUER, L.; HERNÁNDEZ, M.; ASTORGA, J.; REIS, A.; LOGUERCIO, A. D.; FARAGO, P. V.; FERNÁNDEZ, E. Zinc oxide and copper nanoparticles addition in universal adhesive systems improve interface stability on caries-affected dentin. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 100, p. 103366, 2019b.

GUTIÉRREZ, M. F.; MALAQUIAS, P.; HASS, V.; MATOS, T. P.; LOURENÇO, L.; REIS, A.; LOGUERCIO, A. D.; FARAGO, P. V. The role of copper nanoparticles in an etch-and-rinse adhesive on antimicrobial activity, mechanical properties and the durability of resin-dentine interfaces. **Journal of Dentistry**, v. 61, p. 12-20, 2017a.

GUTIÉRREZ, M. F.; MALAQUIAS, P.; MATOS, T. P.; SZESZ, A.; SOUZA, S.; BERMUDEZ, J.; REIS, A.; LOGUERCIO, A. D.; FARAGO, P. V. Mechanical and

microbiological properties and drug release modeling of an etch-and-rinse adhesive containing copper nanoparticles. **Dental Materials**, v. 33, n. 3, p. 309-320, 2017b.

HAMOUDA, M I. Current perspectives of nanoparticles in medical and dental biomaterials. **Journal of Biomedical Research**, v. 26, n. 3, p. 143-151, 2012.

HALKAI, R. S.; GOPINAGARURI, S. P.; HALKAI, K. R.; HUSSAIN, A.; RANGAPPA, J.; RESHMA, S. F Evaluation of push-out bond strength of different concentrations of chitosan nanoparticles incorporated composite resin and eighth-generation bonding agent for class II restoration: An in vitro study. **Journal of Conservative Dentistry and Endodontics**, v. 25, n. 6, p. 666-671, 2022.

HANZEN, T. A.; GUTIÉRREZ, M. F.; DE PARIS MATOS, T.; DE PAULA, A. M.; DE SIQUEIRA, F. S. F.; CARDENAS, A. F. M.; REIS, A. A universal dental adhesive containing copper nanoparticles stabilizes the hybrid layer in eroded dentin after 1 year. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 113, p. 103041, 2022.

HASHIMOTO, M.; OHNO, H.; KAGA, M.; ENDO, K.; SANO, H.; OGUCHI, H. In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. **Journal of Dental Research**, v. 79, n. 6, p. 1385-1391, 2000.

HASS, V.; DOBROVOLSKI, M.; ZANDER-GRANDE, C.; MARTINS, G. C.; GORDILLO, L. A.; RODRIGUES ACCORINTE, M.DEL.; GOMES, O. M.; LOGUERCIO, A. D.; REIS, A. Correlation between degree of conversion, resin–dentin bond strength and nanoleakage of simplified etch-and-rinse adhesives. **Dental Materials**, v. 29, n. 9, p. 921-928, 2013.

HE, T.; HU, D.; REN, Q.; LI, Z.; HAN, S.; DING, L.; ZHANG, L. Promoting effect of proanthocyanidin-amorphous calcium phosphate nanoparticles on biomimetic mineralization of demineralized dentin. **European Polymer Journal**, v. 201, p. 112589, 2023.

HIERS, R. D.; HUEBNER, P.; KHAJOTIA, S. S.; FLOREZ, F. L. E. Characterization of Experimental Nanoparticulated Dental Adhesive Resins with Long-Term Antibacterial Properties. *Nanomaterials*, v. 12, n. 21, p. 3732, 2022.

HONG, Q.; PIERRE-BEZ, A. C.; KURY, M.; CURTIS, M. E.; HIERS, R. D.; ESTEBAN FLOREZ, F. L.; MITCHELL, J. C. Shear Bond Strength and Color Stability of Novel Antibacterial Nanofilled Dental Adhesive Resins. *Nanomaterials*, n. 13, v. 1, p. 1, 2022.

HONG, R. Y.; LI, J. H.; CHEN, L. L.; LIU, D. Q.; LI, H. Z.; ZHENG, Y.; DING, J. J. P. T. Synthesis, surface modification and photocatalytic property of ZnO nanoparticles. *Powder Technology*, v. 189, n. 3, p. 426-432, 2009.

HOSAKA, K.; NAKAJIMA, M.; TAKAHASHI, M.; ITOH, S.; IKEDA, M.; TAGAMI, J.; PASHLEY, D. H. Relationship between mechanical properties of one-step self-etch adhesives and water sorption. *Dental Materials*, v. 26, n. 4, p. 360-367, 2010.

HU, L.; XIAO, Y. H.; FANG, M.; GAO, Y.; HUANG, L.; JIA, A. Q.; CHEN, J. H. Effects of type I collagen degradation on the durability of three adhesive systems in the early phase of dentin bonding. *PLoS One*, v. 10, n. 2, p. e0116790, 2015.

HUSSAIN, N.; KHALID, H.; ALMAIMOUNI, Y. K.; IKRAM, S.; KHAN, M.; DIN, S. U.; KHAN, A. S. Microwave assisted urethane grafted nano-apatites for dental adhesives. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, v. 35, n. 6, p. 479-490, 2020.

IMAZATO, S. Antibacterial properties of resin composites and dentin bonding systems. *Dental Materials*, v. 19, n. 6, p. 449-457, 2003.

JANDT, K. D.; SIGUSCH, B. W. Future perspectives of resin-based dental materials. *Dental Materials*, v. 25, n. 8, p. 1001-1006, 2009.

JANDT, K. D.; WATTS, D. C. Nanotechnology in dentistry: Present and future perspectives on dental nanomaterials. **Dental Materials**, v. 36, n. 11, p. 1365–1378, 2020.

JOWKAR, Z.; SHAFIEI, F.; ASADMANESH, E.; KOOHPEIMA F. Influence of silver nanoparticles on resin-dentin bond strength durability in a self-etch and an etch-and-rinse adhesive system. **Restorative Dentistry & Endodontics**, v. 44, n. 2, 2019.

JUN, S. K.; YANG, S. A.; KIM, Y. J.; EL-FIQI, A.; MANDAKHBAYAR, N.; KIM, D. S.; ROH, J.; SAURO, S.; KIM, H. W.; LEE, J. H.; LEE, H. H. Multi-functional nano-adhesive releasing therapeutic ions for MMP-deactivation and remineralization. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 5663, 2018.

KALAGI, S.; FEITOSA, S. A.; MÜNCHOW, E. A.; MARTINS, V. M.; KARCZEWSKI, A. E.; COOK, N. B.; DIEFENDERFER, K.; ECKERT, G. J.; GERALDELI, S.; BOTTINO, M. C. Chlorhexidine-modified nanotubes and their effects on the polymerization and bonding performance of a dental adhesive. **Dental Materials**, v. 36, n. 5, p. 687-697, 2020.

KANEHIRA, M.; FINGER, W. J.; HOFFMANN, M.; ENDO, T.; KOMATSU, M. Relationship between degree of polymerization and enamel bonding strength with self-etching adhesives. **Journal of Adhesive Dentistry**, v. 8, n. 4, 2006.

KANGO, S.; KALIA, S.; CELLI, A.; NJUGUNA, J.; HABIBI, Y.; KUMAR, R. Surface modification of inorganic nanoparticles for development of organic–inorganic nanocomposites—A review. **Progress in Polymer Science**, v. 38, n. 8, p. 1232-1261, 2013.

KAVRIK, F.; KUCUKYILMAZ, E. The effect of different ratios of nano-sized hydroxyapatite fillers on the micro-tensile bond strength of an adhesive resin. **Microscopy Research and Technique**, v. 82, n. 5, p. 538-543, 2019.

KESKAR, M.; SABATINI, C.; CHENG, C.; SWIHART, M. T. Synthesis and characterization of silver nanoparticle-loaded amorphous calcium phosphate microspheres for dental applications. **Nanoscale Advances**, v. 1, n. 2, p. 627-635, 2019.

KHAN, A. S.; ALHAMDAN, Y.; ALIBRAHIM, H.; ALMULHIM, K. S.; NAWAZ, M.; AHMED, S. Z.; ALJUAID, K.; ATEEQ, I. S.; AKHTAR, S.; ANSARI, M. A.; SIDDIQUI, I. A. Analyses of Experimental Dental Adhesives Based on Zirconia/Silver Phosphate Nanoparticles. **Polymers**, v. 15, n. 12, p. 2614, 2023.

KOZMOS, M.; VIRANT, P.; ROJKO, F.; ABRAM, A.; RUDOLF, R.; RASPOR, P.; ZORE, A.; BOHINC, K. Bacterial Adhesion of Streptococcus mutans to Dental Material Surfaces. **Molecules**, v. 26, n. 4, p. 1152, 2021.

KREUTZ, M.; KREUTZ, C.; KANZOW, P.; TAUBÖCK, T. T.; BURRER, P.; NOLL, C.; BADER, O.; ROHLAND, B.; WIEGAND, A.; RIZK, M. Effect of Bioactive and Antimicrobial Nanoparticles on Properties and Applicability of Dental Adhesives. **Nanomaterials**, v. 12, n. 21, p. 3862, 2022.

LEITUNE, V. C. B.; COLLARES, F. M.; TAKIMI, A.; DE LIMA, G. B.; PETZHOLD, C. L.; BERGMANN, C. P.; SAMUEL, S. M. W. Niobium pentoxide as a novel filler for dental adhesive resin. **Journal of Dentistry**, v. 41, n. 2, p. 106-113, 2013.

LEITUNE, V. C. B.; SCHIROKY, P. R.; GENARI, B.; CAMASSOLA, M.; S, F. A. L., SAMUEL, S. M. W.; COLLARES, F. M. Nanoneedle-like zinc oxide as a filler particle for an experimental adhesive resin. **Indian Journal of Dental Research**, v. 30, n. 5, p. 777-782, 2019.

LEPRINCE, J. G.; PALIN, W. M.; VANACKER, J.; SABBAGH, J.; DEVAUX, J.; LELOUP, G. Physicomechanical characteristics of commercially available bulkfill composites. **Journal of Dentistry**, v. 42, n. 8, p. 993-1000, 2014.

LI, F.; CHAI, Z. G.; SUN, M. N.; WANG, F.; MA, S.; ZHANG, L.; FANG, M.; CHEN, J. H. Anti-biofilm effect of dental adhesive with cationic monomer. **Journal of Dental Research**, v. 88, n. 4, p. 372-376, 2009a.

LI, F.; CHEN, J.; CHAI, Z.; ZHANG, L.; XIAO, Y.; FANG, M.; MA, S. Effects of a dental adhesive incorporating antibacterial monomer on the growth, adherence and membrane integrity of *Streptococcus mutans*. **Journal of Dentistry**, v. 37, n. 4, p. 289-296, 2009b.

LI, X.; CUI, R.; LIU, W.; SUN, L.; YU, B.; FAN, Y.; FENG, Q.; CUI, F.; WATARI, F. The use of nanoscaled fibers or tubes to improve biocompatibility and Tese de Doutorado 142 bioactivity of biomedical materials. **Journal of Nanomaterials**, v. 2013, n. 1, p. 728130, 2013.

LI, Y.; LI, N.; PAN, W.; YU, Z.; YANG, L.; TANG, B. Hollow Mesoporous Silica Nanoparticles with Tunable Structures for Controlled Drug Delivery. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 9, n. 3, p. 2123- 2129, 2017.

LIANG, K.; XIAO, S.; WEIR, M. D.; BAO, C.; LIU, H.; CHENG, L.; ZHOU, X.; LI, J.; XU, H. H. K. Poly (amido amine) dendrimer and dental adhesive with calcium phosphate nanoparticles remineralized dentin in lactic acid. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 106, n. 6, p. 2414-2424, 2018.

LIMA, L. C.; SILVA, F. R. O.; VIANA, Í. E. L.; DENUCCI, G. C.; MUMAW, C. L.; WALKER, C.; HARA, A. T.; SCARAMUCCI, T.; SOCHACKI, S. F. Novel resinbased material containing β -tricalcium phosphate nanoparticles for the reduction of dentin permeability. **Journal of Dentistry**, v. 141, p. 104827, 2024.

LIN, J.; SUN, M.; ZHENG, Z.; SHINYA, A.; HAN, J.; LIN, H.; ZHENG, G.; SHINYA, A. Effects of rotating fatigue on the mechanical properties of microhybrid and nanofiller-containing composites. **Dental Materials Journal**, v. 32, n. 3, p. 476–483, 2013.

LIU, M.; JIA, Z.; JIA, D.; ZHOU, C. Recent advance in research on halloysite nanotubes-polymer nanocomposite. **Progress in Polymer Science**, v. 39, n. 8, p. 1498-1525, 2014.

LIU, Y.; YANG, J.; YANG, Y.; LI, M.; XU, H. H.; WEIR, M. D.; LI, J. Evaluation of the ability of adhesives with antibacterial and remineralization functions to prevent secondary caries in vivo. **Clinical Oral Investigations**, v. 26, n. 4, p. 3637-3650, 2022.

LÓPEZ-RUIZ, M.; NAVAS, F.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, P.; MARTÍNEZ-ERRO, S.; FUENTES, M. V.; GIRÁLDEZ, I.; CEBALLOS, L.; FERRER-LUQUE, C. M.; RUIZ-LINARES, M.; MORALES, V.; SANZ, R.; GARCÍA-MUÑOZ, R. A. Larginine-containing mesoporous silica nanoparticles embedded in dental adhesive (Arg@MSN@DAdh) for targeting cariogenic bacteria. *J Nanobiotechnology*. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 20, n. 1, p. 502, 2022.

LOVELL, L.G.; NEWMAN, S.M.; BOWMAN, C.N. The effect of light intensity on double bound conversion and flexural strength of a model, unfilled dental resin. **Dental Materials**, v.19, n.6, p.458-65. 2003.

LYNCH, C. D.; OPDAM, N. J.; BRUNTON, P. A.; GURGAN, S.; KAKABOURA, A.; SHEARER, A. C.; VANHERLE, G.; WILSON, N. H. Academy of Operative Dentistry European Section. Guidance on posterior resin composites: Academy of Operative Dentistry - European Section. **Journal of Dentistry**, v. 42, n. 4, p. 377–383, 2014.

MACIEL PIRES, P.; DÁVILA-SÁNCHEZ, A.; FAUS-MATOSES, V.; NUÑEZ MARTÍ, J. M.; LO MUZIO, L.; SAURO, S. Bonding performance and ultramorphology of the resin-dentine interface of contemporary universal adhesives. **Clinical Oral Investigations**, v. 26, n. 6, p. 4391-4405, 2022.

MARELLI, B.; LE NIHOUE, D.; HACKING, S. A.; TRAN, S.; LI, J.; MURSHED, M.; DOILLON, C. J.; GHEZZI, C. E.; ZHANG, Y. L.; NAZHAT, S. N.;

BARRALET, J. E. Newly identified interfibrillar collagen crosslinking suppresses cell proliferation and remodelling. **Biomaterials**, v. 54, p. 126-135, 2015.

MARYOOSH, R. M.; AL-SHAMMA, A. M. Shear bond strength of fluorinated grapheme nanoparticles modified dental adhesives. **Annals of Tropical Medicine & Public Health**, v. 23, p. 1-5, 2020a.

MARYOOSH, R. M.; AL-SHAMMA, A. M. Development and assessment of fluorinated grapheme nanoparticles modified dental adhesives. **Annals of Tropical Medicine & Public Health**, v. 20, p. 41588, 2020b.

MATOS, T. P.; GUTIÉRREZ, M. F.; HANZEN, T. A.; MALAQUIAS, P.; DE PAULA, A. M.; DE SOUZA, J. J.; HASS, V.; FERNÁNDEZ, E.; REIS, A.; LOGUERCIO, A. D. 18-month clinical evaluation of a copper-containing universal adhesive in non-cariou cervical lesions: A double-blind, randomized controlled trial. **Journal of Dentistry**, v. 90, p. 103219, 2019.

MATOS, T. P.; ÑAUPARI-VILLASANTE, R.; KUNZ, P. V. M.; HASS, V.; REIS, A.; GUTIÉRREZ, M. F.; LOGUERCIO, A. D. 48-month clinical evaluation of a copper-containing universal adhesive in non-cariou cervical lesions: A doubleblind randomised clinical trial. **Dental Materials**, v. 39, n. 9, p. 820-830, 2023.

MAZLOOM-JALALI, A.; TAROMI, F. A.; ATAI, M.; SOLHI, L. Dual modified nanosilica particles as reinforcing fillers for dental adhesives: Synthesis, characterization, and properties. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 110, p. 103904, 2020.

MAZZONI, A.; ANGELONI, V.; COMBA, A.; MARAVIC, T.; CADENARO, M.; TEZVERGIL-MUTLUAY, A.; PASHLEY, D. H.; TAY, F. R.; BRESCHI, L. Crosslinking effect on dentin bond strength and MMPs activity. **Dental Materials**, v. 34, n. 2, p. 288-295, 2018.

MELO, M. A.; GUEDES, S. F.; XU, H. H.; RODRIGUES, L. K. Nanotechnologybased restorative materials for dental caries management. **Trends in Biotechnology**, v. 31, n. 8, p. 459-467, 2013.

MENG, Y.; HUANG, F.; WANG, S.; LI, M.; LU, Y.; PEI, D.; LI, A. Bonding performance of universal adhesives applied to nano-hydroxyapatite desensitized dentin using etch-and-rinse or self-etch mode. **Materials**, v. 14, n. 16, p. 4746, 2021.

MI, C.; JING, Z.; ZHU, W. A novel universal adhesive for improved dentin remineralization with antibiofilm potential against *Streptococcus mutans* and other cariogenic-pathogens. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 118, p. 103189, 2022.

MOHAMMED, H. F.; RIAD, M. I. The effect of silver nanoparticles incorporation in the self-etch adhesive system on its antibacterial activity and degree of conversion: An in-vitro study. **F1000Research**, v. 8, n. 244, p. 244, 2019.

MOK, Z. H.; MYLONAS, P.; AUSTIN, R.; PROCTOR, G.; PITTS, N.; THANOU, M. Calcium phosphate nanoparticles for potential application as enamel remineralising agent tested on hydroxyapatite discs. **Nanoscale**, v. 13, n. 47, p. 20002–20012, 2021.

MOKEEM, L. S.; MARTINI GARCIA, I.; BALHADDAD, A. A.; LAN, Y.; SEIFU, D.; WEIR, M. D.; MELO, M. A. Multifunctional Dental Adhesives Formulated with Silane-Coated Magnetic Fe₃O₄@m-SiO₂ Core-Shell Particles to Counteract Adhesive Interfacial Breakdown. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 16, n. 2, p. 2120-2139, 2024.

MORONES, J. R.; ELECHIGUERRA, J. L.; CAMACHO, A.; HOLT, K.; KOURI, J. B.; RAMÍREZ, J. T.; YACAMAN, M. J. The bactericidal effect of silver nanoparticles. **Nanotechnology**, v. 16, n. 10, p. 2346, 2005.

MORTAZAVI, V.; FATHI, M.; ATAELI, E.; KHODAEIAN, N.; ASKARI, N. Shear bond strengths and morphological evaluation of filled and unfilled adhesive interfaces to enamel and dentine. **International Journal of Dentistry**, v. 2012, n. 1, p. 858459, 2012.

MOUSTAFA, N. H.; MOTAWAE, I. T.; BAYOUMI, R. E. Evaluating the Antibacterial Activity of Prepared Chitosan Nanoparticles Loaded with Grape Seed Extract Incorporated into Dental Adhesive. **Al-Azhar Journal of Dentistry**, v. 11, n. 1, p. 10, 2024.

NAKABAYASHI, N.; ASHIZAWA, M.; NAKAMURA, M. Identification of resin-dentin hybrid layer in vital human dentin created in vivo: durable bonding to vital dentin. **Quintessence International**, v. 23, n. 2, p. 135-141, 1992.

NAGARKAR, S.; THEIS-MAHON, N.; PERDIGÃO, J. Universal dental adhesives: Current status, laboratory testing, and clinical performance. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 107, n. 6, p. 2121-2131, 2019.

NAGUIB, G.; MAGHRABI, A. A.; MIRA, A. I.; MOUSLY, H. A.; HAJJAJ, M.; HAMED, M. T. Influence of inorganic nanoparticles on dental materials' mechanical properties. A narrative review. **BMC Oral Health**, v. 23, n. 1, p. 897, 2023.

ÑAUPARI-VILLASANTE, R.; GUTIÉRREZ, M. F.; DE PARIS MATOS, T.; NUÑEZ, A.; FERNANDEZ, E.; REIS, A.; LOGUERCIO, A. D. Four-year effects of copper-nanoparticles on durability of resin-dentin interfaces. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 119, p. 103253, 2022.

NAVARRA, C. O.; BRESCHI, L.; TURCO, G.; DIOLOSÀ, M.; FONTANIVE, L.; MANZOLI, L.; DI LENARDA, R.; CADENARO, M. Degree of conversion of twostep etch-and-rinse adhesives: In situ micro-Raman analysis. **Journal of Dentistry**, v. 40, n. 9, p. 711-717, 2012.

NEVES, J. G.; MARCATO, P. D.; DE PAULA E SILVA, F. W. G.; MANTOVANI, C. P. T.; PRADO, H. S.; AIRES, C. P.; MASSARO, T. N. C.; BORSATO, M. C. Synthesis and characterization of an experimental primer containing chitosan nanoparticles - Effect on the inactivation of metalloproteinases, antimicrobial activity and adhesive strength. **Archives of Oral Biology**, v. 127, p. 105148, 2021.

NIAZI, F. H.; LUDDIN, N.; ALGHAWAZI, A. M.; AL SEBAI, L.; ALQERBAN, A.; ALQAHTANI, Y. M.; BARAKAT, A.; SAMRAN, A.; NOUSHAD, M. Aluminum zirconate nanoparticles in etch and rinse adhesive to caries affected dentine: An in-vitro scanning electron microscopy, elemental distribution, antibacterial, degree of conversion and micro-tensile bond strength assessment. **Microscopy Research and Technique**, v. 87, n. 8, p. 1955–1964, 2024.

NIZAMI, M. Z. I.; XU, V. W.; YIN, I. X.; LUNG, C. Y. K.; NIU, J. Y.; CHU, C. H. Ceramic Nanomaterials in Caries Prevention: A Narrative Review. *Nanomaterials*, v. 12, n. 24, p. 4416, 2022.

OANCEA, R.; ZAHARIA, C.; GABOR, A.; SINESCU, C.; MIOC, M.; VADUVA, D. B.; NEGRUTIU, M. Imagistic Analysis of Dental Adhesives Loaded with Nanoparticles Used on Teeth Sealing of Pits and Fissures with Resin Based Materials. *Materiale Plastice*, v. 56, n. 2, p. 449-453, 2019.

OBEID, A. T.; VELO, M. M. D. A. C.; DE LIMA NASCIMENTO, T. R.; DE LUCENA, F. S.; GUEDES, A. P. D. M. A.; MENDES, A. Z. F.; BOMBONATTI, J. F. S. Surface mineral deposition and mechanical properties of one-step bonding agent with copper-modified niobium nanoparticles—An in vitro Tese de Doutorado 147 study. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v.133, p. 103764, 2024.

OLTRAMARE, R.; PAR, M.; MOHN, D.; WIEDEMEIER, D. B.; ATTIN, T.; TAUBÖCK, T. T. Short- and Long-Term Dentin Bond Strength of Bioactive Glass Modified Dental Adhesives. **Nanomaterials**, v. 11, n. 8, p. 1894, 2021.

OSORIO, R.; YAMAUTI, M.; OSORIO, E.; ROMÁN, J. S.; TOLEDANO, M. Zincdoped dentin adhesive for collagen protection at the hybrid layer. **European Journal of Oral Sciences**, v. 119, n. 5, p. 401-410, 2011.

PACHECO, R. R.; GARCIA-FLORES, A. F.; SOTO-MONTERO, J. R.; LESSEUX, G. G.; LANCELOTTI, A. C. R. A.; MARTINEZ, E. D.; RETTORI, C.; URBANO, R. R.; RUEGGERBERG, F. A.; GIANNINI, M. Synthesis, characterization, and incorporation of upconverting nanoparticles into a dental adhesive. **Brazilian Oral Research**, v. 35, p. e120, 2021.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOHER, D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ (Clinical research ed.)**, v. 372, n. 71, 2021.

PALASUK, J.; WINDSOR, L. J.; PLATT, J. A.; LVOV, Y.; GERALDELI, S.; BOTTINO, M. C. Doxycycline-loaded nanotube-modified adhesives inhibit MMP in a dose-dependent fashion. **Clinical Oral Investigations**, v. 22, p. 1243-1252, 2018.

PASHLEY, D. H.; TAY, F. R.; YIU, C. K. Y.; HASHIMOTO, M.; BRESCHI, L.; CARVALHO, R. M. D.; ITO, S. Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. **Journal of Dental Research**, v. 83, n. 3, p. 216-221, 2004.

PERDIGÃO, J.; ARAUJO, E.; RAMOS, R. Q.; GOMES, G.; PIZZOLOTTO, L. Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 33, n. 1, p. 51-68, 2021.

PERDIGÃO, J.; SWIFT JR, E. J.; WALTER, R. Fundamental Concepts of Enamel and Dentin Adhesion. Heymann H, Swift Jr EJ. **Sturdevant's Art And**

Science Of Operative Dentistry. 6th Ed. St. Louis: Elsevier/Mosby, p. 114-35, 2012.

PRIYADARSHINI, B. M.; MITALI, K.; LU, T. B.; HANDRAL, H. K.; DUBEY, N.; FAWZY, A. S. PLGA nanoparticles as chlorhexidine-delivery carrier to resin-dentin adhesive interface. **Dental Materials**, v. 33, n. 7, p. 830-846, 2017.

PROVENZI, C.; COLLARES, F. M.; CUPPINI, M.; SAMUEL, S. M. W.; ALVES, A. K.; BERGMANN, C. P.; LEITUNE, V. C. B. Effect of nanostructured zirconium dioxide incorporation in an experimental adhesive resin. **Clinical Oral Investigations**, v. 22, p. 2209-2218, 2018.

PUPO, Y. M.; NADAL, J. M.; MALUF, D. F.; DE LARA, E. L.; SAITO, R. E.; MICHEL, M. D.; FARAGO, P. V. Effect of hydroxyapatite morphology and quaternary ammonium polymer co-inclusion on bond strength, cytotoxicity, and cell morphology of self-etching adhesive. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 92, p. 7-15, 2019.

RAO, A. C.; KONDAS, V. V.; NANDINI, V.; KIRANA, R.; YADALAM, P. K.; ESWARAMOORTHY, R. Evaluating the effect of poly (amidoamine) treated bioactive glass nanoparticle incorporated in universal adhesive on bonding to artificially induced caries affected dentin. **BMC Oral Health**, v. 23, n. 1, p. 810, 2023.

REIS, A.; CARRILHO, M.; BRESCHI, L.; LOGUERCIO, A. D. Overview of clinical alternatives to minimize the degradation of the resin-dentin bonds. **Operative Dentistry**, v. 38, n. 4, p. E103-E127, 2013.

RIZK, M.; HOHLFELD, L.; THANH, L. T.; BIEHL, R.; LÜHMANN, N.; MOHN, D.; WIEGAND, A. Bioactivity and properties of a dental adhesive functionalized with polyhedral oligomeric silsesquioxanes (POSS) and bioactive glass. **Dental Materials**, v. 33, n. 9, p. 1056-1065, 2017.

RODRIGUES, M. C.; NATALE, L. C.; ARANA-CHAVES, V. E.; BRAGA, R. R. Calcium and phosphate release from resin-based materials containing different calcium orthophosphate nanoparticles. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 103, n. 8, p. 1670-1678, 2015.

RUCKER, R. B.; KOSONEN, T.; CLEGG, M. S.; MITCHELL, A. E.; RUCKER, B. R.; URIU-HARE, J. Y.; KEEN, C. L. Copper, lysyl oxidase, and extracellular matrix protein cross-linking. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 67, n. 5, p. 996S-1002S, 1998.

SABATINI, C.; MENNITO, A. S.; WOLF, B. J.; PASHLEY, D. H.; RENNÉ, W. G. Incorporation of bactericidal poly-acrylic acid modified copper iodide particles into adhesive resins. **Journal of Dentistry**, v. 43, n. 5, p. 546-555, 2015.

SABATINI, C.; PASHLEY, DH. Mechanisms regulating the degradation of dentin matrices by endogenous dentin proteases and their role in dental adhesion. A review. **American Journal of Dentistry**, v. 27, n. 4, p. 203, 2014.

SAFFARPOUR, M.; RAHMANI, M.; TAHRIRI, M.; PEYMANI, A. Antimicrobial and bond strength properties of a dental adhesive containing zinc oxide nanoparticles. *Brazilian Journal of Oral Sciences*, v. 15, n. 1, p. 66-69, 2016. SAURO, S.; OSORIO, R.; WATSON, T. F.; TOLEDANO, M. Therapeutic effects of novel resin bonding systems containing bioactive glasses on mineral-depleted areas within the bonded-dentine interface. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 23, n. 6, p. 1521–1532, 2012.

SCAFFA, P. M.; BRESCHI, L.; MAZZONI, A.; VIDAL, C. M.; CURCI, R.; APOLONIO, F.; GOBBI, P.; PASHLEY, D.; TJÄDERHANE, L.; TERSARIOL, I. Tese de Doutorado 150 L.; NASCIMENTO, F. D.; CARRILHO, M. R. Codistribution of cysteine cathepsins and matrix metalloproteinases in human dentin. **Archives of Oral Biology**, v. 74, p. 101-107, 2017.

SCHMALZ, G.; HICKEL, R.; VAN LANDUYT, K. L.; REICHL, F. X. Nanoparticles in dentistry. **Dental Materials**, v. 33, n. 11, p. 1298–1314, 2017.

SEYEDMAJIDI, S.; SEYEDMAJIDI, M.; ZABIHI, E.; HAJIAN-TILAKI, K. A comparative study on cytotoxicity and genotoxicity of the hydroxyapatite-bioactive glass and fluorapatite-bioactive glass nanocomposite foams as tissue scaffold for bone repair. **Journal of Biomedical Materials Research. Part A**, v.106, n. 10, p. 2605–2612, 2018.

SHAFIEI, F.; ASHNAGAR, A.; GHAVAMI-LAHIJI, M.; NAJAFI, F.; AMIN MARASHI; S. M. Evaluation of Antibacterial Properties of Dental Adhesives Containing Metal Nanoparticles. **Journal of Dental Biomaterials**, v. 5, n. 1, p. 510-519, 2018.

SHI, Y.; SHEN, D.; ZHENG, H.; WU, Z.; SHAO, C.; ZHANG, L.; PAN, H.; TANG, R.; FU, B. Therapeutic Management of Demineralized Dentin Surfaces Using a Mineralizing Adhesive To Seal and Mineralize Dentin, Dentinal Tubules, and Odontoblast Processes. **ACS Biomaterials Science & Engineering**, v. 5, n. 10, p. 5481-5488, 2019.

SHU, C.; ZHANG, Z.; LI, X.; XU, J.; PAN, M.; CHEN, Y.; LI, X. Refactoring phosphorylated hydrogel-like interface of demineralized dentin matrix via actively induced formation of nano-ACPs forms a defect-low hybrid layer promoting adhesive dentistry. **Chemical Engineering Journal**, v. 450, p. 137945, 2022.

SKRTIC, D.; HAILER, A. W.; TAKAGI, S.; ANTONUCCI, J. M.; EANES, E. D. Quantitative assessment of the efficacy of amorphous calcium phosphate/methacrylate composites in remineralizing caries-like lesions artificially produced in bovine enamel. **Journal of Dental Research**, v. 75, n. 9, p. 1679-1686, 1996.

SOLHI, L.; ATAI, M.; NODEHI, A.; IMANI, M. POLY (methacrylic acid) modified spherical and platelet hybrid nanoparticles as reinforcing fillers for dentin bonding systems: Synthesis and properties. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 109, p. 103840, 2020.

SOLHI, L.; ATAI, M.; NODEHI, A.; IMANI, M. On the properties of nanosilicatebased filled dental adhesives: Synthesis, characterization, and optimized formulation. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 119, p. 104498, 2021.

SONG, W.; GE, S. Application of Antimicrobial Nanoparticles in Dentistry. **Molecules**, v. 24, n. 6, p. 1033, 2019.

STEWART, C. A.; HONG, J. H.; HATTON, B. D.; FINER, Y. Responsive antimicrobial dental adhesive based on drug-silica co-assembled particles. **Acta Biomaterialia**, v. 76, p. 283-294, 2018.

ŠTRUNCOVÁ, M.; TOMA, S. H.; ARAKI, K.; BRESCIANI, E.; RODRIGUES, F. P.; MEDEIROS, I. S.; DUTRA-CORREA, M. Silver nanoparticles added to a commercial adhesive primer: Colour change and resin colour stability with ageing. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 102, p. 102694, 2020.

STÜRMER, M.; GARCIA, I. M.; SOUZA, V. S.; VISIOLI, F.; SCHOLTEN, J. D.; SAMUEL, S. M. W.; LEITUNE, V. C. B.; COLLARES, F. M. Titanium dioxide nanotubes with triazine-methacrylate monomer to improve physicochemical and biological properties of adhesives. **Dental Materials**, v. 37, n. 2, p. 223-235, 2021.

SUCALĂ, D.; SAROSI, C.; POPA, C.; COJOCARU, I.; MOLDOVAN, M.; MOHAN, A. G. In vitro behaviour of new experimental adhesive systems. *Studia Universitatis Babes-Bolyai, Chemia*, v. 63, n. 2, 2018.

SUN, J.; PETERSEN, E. J.; WATSON, S. S.; SIMS, C. M.; KASSMAN, A.; FRUKHTBEYN, S.; SKRTIC, D.; OK, M. T.; JACOBS, D. S.; REIPA, V.; YE, Q.; NELSON, B. C. Biophysical characterization of functionalized titania nanoparticles and their application in dental adhesives. **Acta biomaterialia**, v. 53, p. 585-597, 2017.

TAY, F. R.; MOULDING, K. M.; PASHLEY, D. H. Distribution of nanofillers from a simplifiedstep adhesive in acid-conditioned dentin. **Journal of Adhesive Dentistry**, v. 1, n. 2, 1999.

TIAN, L.; PENG, C.; SHI, Y.; GUO, X.; ZHONG, B.; QI, J.; WANG, G.; CAI, Q.; CUI, F. Effect of mesoporous silica nanoparticles on dentinal tubule occlusion: An in vitro study using SEM and image analysis. **Dental Materials Journal**, v. 33, n. 1, p. 125-132, 2014.

TJADERHANE, L. Dentin bonding: can we make it last. **Operative Dentistry**, v. 40, n. 1, p. 4-18, 2015.

TOLEDANO, M.; AGUILERA, F. S.; OSORIO, E.; CABELLO, I.; TOLEDANO-OSORIO, M.; OSORIO, R. Self-etching zinc-doped adhesives improve the potential of caries-affected dentin to be functionally remineralized. **Biointerphases**, v. 10, n. 3, 2015.

TOLEDANO, M.; OSORIO, R.; OSORIO, E.; GARCÍA-GODOY, F.; TOLEDANO-OSORIO, M.; AGUILERA, F. S. Advanced zinc-doped adhesives for high performance at the resin-carious dentin interface. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 62, p. 247-267, 2016.

TOLEDANO, M.; SAURO, S.; CABELLO, I.; WATSON, T.; OSORIO, R. A. Zndoped etch-and-rinse adhesive may improve the mechanical properties and the integrity at the bonded-dentin interface. **Dental Materials**, v. 29, n. 8, p. 142–152, 2013.

TORRES-MÉNDEZ, F.; MARTINEZ-CASTAÑÓN, G. A.; TORRES-GALLEGOS, I.; ZAVALA-ALONSO, N. V.; PATIÑO-MARIN, N.; NIÑO-MARTÍNEZ, N.; RUIZ, F. Effects of silver nanoparticles on the bonding of three adhesive systems to fluorotic enamel. **Dental Materials Journal**, v. 36, n. 3, p. 266-274, 2017.

TORRES-ROSAS, R.; TORRES-GÓMEZ, N.; GARCÍA-CONTRERAS, R.; SCOUGALL-VILCHIS, R. J.; DOMÍNGUEZ-DÍAZ, L. R.; ARGUETA-FIGUEROA,

Tese de Doutorado 153 L. Copper nanoparticles as nanofillers in an adhesive resin system: An in vitro study. **Dental and Medical Problems**, v. 57, n. 3, p. 239-246, 2020.

TYAS, M. J.; ANUSAVICE, K. J.; FRENCKEN, J. E.; MOUNT, G. J. Minimal intervention dentistry- a review. FDI Commission Project 1-97. **International Dental Journal**, v. 50, n. 1, p. 1-12, 2000.

VAN MEERBEEK, B.; YOSHIHARA, K.; VAN LANDUYT, K.; YOSHIDA, Y.; PEUMANS, M. From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to SelfAdhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology. **Journal of Adhesive Dentistry**, v. 22, n. 1, p. 7-34, 2020.

VAN MEERBEEK, B.; YOSHIHARA, K.; YOSHIDA, Y.; MINE, A. J. D. M. K. L. V. L.; DE MUNCK, J.; VAN LANDUYT, K. L. State of the art of self-etch adhesives. **Dental Materials**, v. 27, n. 1, p. 17-28, 2011.

VERMA, S.; CHEVVURI, R.; SHARMA, H. Nanotechnology in dentistry: unleashing the hidden gems. **Journal of Indian Society of Periodontology**, v. 22, n. 3, p. 196-200, 2018.

VIDAL, O.; DE PARIS MATOS, T.; NÚÑEZ, A.; MÉNDEZ-BAUER, L., SUTIL, E.; ÑAUPARI-VILLASANTE, R.; SOUTA, M. C.; PITLOVANCIV, M.; GUTIÉRREZ, M. F.; LOGUERCIO, A. D. A universal adhesive containing copper nanoparticles improves the stability of hybrid layer in a cariogenic oral environment: An in situ study. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 126, p. 105017, 2022.

VOLLATH, Dieter. Nanoparticles-nanocomposites nanomaterials: an introduction for beginners. **John Wiley & Sons**, 2013.

WANG, Y.; DING, Y.; DENG, J.; NIE, R.; MENG, X. Antibacterial one-step selfetching dental adhesive with silver nanoparticles synthesized in situ. **Journal of Dentistry**, v. 129, p. 104411, 2023.

WANG, Y.; SPENCER, P. Hybridization efficiency of the adesives/dentin interface with wet bonding. **Journal of Dental Research**, v. 82, n.2, p. 141-145. 2003.

WANG, Z.; OUYANG, Y.; WU, Z.; ZHANG, L.; SHAO, C.; FAN, J.; ZHANG, L.; SHI, Y.; ZHOU, Z.; PAN, H.; TANG, R.; FU, B. A novel fluorescent adhesiveassisted biomimetic mineralization. **Nanoscale**, v. 10, n. 40, p. 18980-18987, 2018.

MEEREIS, W. C. T.; SUÁREZ, C. E. C.; DE ALMEIDA, S. M.; DE ALMEIDA, C. M.; PIVA, E.; COLLARES, F. M.; OGLIARI, F. A. Dentin bonding performance of experimental one-step adhesives after incorporation of POOH-SiO₂ nanoparticles. **Applied Adhesion Science**, v. 4, p. 1-8, 2016.

WEIR, M.; CHOW, L.; XU, H. Remineralization of demineralized enamel via calcium phosphate nanocomposite. **Journal of Dental Research**, v. 91, n. 10, p. 979–984, 2012.

WETZEL, B.; HAUPERT, F.; ZHANG, M. Q. Epoxy nanocomposites with high mechanical and tribological performance. **Composites Science and Technology**, v. 63, n. 14, p. 2055-2067, 2003.

WU, L.; CAO, X.; MENG, Y.; HUANG, T.; ZHU, C.; PEI, D.; WEIR, M. D.; OATES, T. W.; LU, Y.; XU, H. H. K.; LI, Y. Novel bioactive adhesive containing dimethylaminohexadecyl methacrylate and calcium phosphate nanoparticles to inhibit metalloproteinases and nanoleakage with three months of aging in artificial saliva. **Dental Materials**, v. 38, n. 7, p. 1206-1217, 2022.

XIE, X.; WANG, L.; XING, D.; ZHANG, K.; WEIR, M. D.; LIU, H.; BAI, Y.; XU, H. H. K. Novel dental adhesive with triple benefits of calcium phosphate recharge, protein-repellent and antibacterial functions. **Dental Materials**, v. 33, n. 5, p. 553-563, 2017.

XU, H. H.; MOREAU, J. L. Dental glass-reinforced composite for caries inhibition: Calcium phosphate ion release and mechanical properties. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials**, v. 92, n. 2, p. 332-340, 2010.

XU, H.; MOREAU, J.; SUN, L.; CHOW L. Nanocomposite containing amorphous calcium phosphate nanoparticles for caries inhibition. **Dental Materials**, v. 27, n. 8, p. 762-769, 2011.

YANG, Y.; DING, Y.; FAN, Y.; REN, L.; TANG, X.; MENG, X. Application of silver nanoparticles in situ synthesized in dental adhesive resin. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 108, p. 102890, 2021.

YOKESH, C. A.; HEMALATHA, P.; MUTHALAGU, M.; JUSTIN, M. R. Comparative Evaluation of the Depth of Cure and Degree of Conversion of Two Bulk Fill Flowable Composites. **Journal of Clinical and Diagnostic Research: JCDR**, v. 11, n. 8, p. ZC86, 2017.

YU, B.; LIU, F.; HE, J. Preparation of low shrinkage methacrylate-based resin system without Bisphenol A structure by using a synthesized dendritic macromer (G-IEMA). **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 35, p. 1-8, 2014.

YU, Z.; TAO, S.; XU, H. H. K.; WEIR, M. D.; FAN, M.; LIU, Y.; ZHOU, X.; LIANG, K.; LI, J. Rechargeable adhesive with calcium phosphate nanoparticles inhibited long-term dentin demineralization in a biofilm-challenged environment. **Journal of Dentistry**, v. 104, p. 103529, 2021.

YUE, S.; WU, J.; ZHANG, Q.; ZHANG, K.; WEIR, M. D.; IMAZATO, S.; BAI, Y.; XU, H. H. K. Novel dental adhesive resin with crack self-healing, antimicrobial and remineralization properties. **Journal of Dentistry**, v. 75, p. 48-57, 2018.

ZAHARIA, C.; SINESCU, C. O. S. M. I. N.; GABOR, A. G.; COJOCARIU, A. C.; SOCOLIUC, V.; SZUHANKEK, C. A. M. E. L. I. A.; NEGRUTIU, M. MicroCT Analysis of Dental Adhesives Loaded with Nanoparticles. **Revista de Chimie**, v. 70, p. 1769-1773, 2019a.

ZAHARIA, C.; SINESCU, C.; GABOR, A. G.; SOCOLIUC, V.; TALPOS, S.; HAJAJ, T.; NEGRUTIU, M. L. Influences of Polymeric Magnetic Encapsulated Nanoparticles on the Adhesive Layer for Composite Materials Used for Class I Dental Fillings. **Materiale Plastice**, v. 56, p. 399-404, 2019b.

ZAHARIA, C.; DUMA, V. F.; SINESCU, C.; SOCOLIUC, V.; CRACIUNESCU, I.; TURCU, R. P.; MARIN, C. N.; TUDOR, A.; ROMINU, M.; NEGRUTIU, M. L. Dental Adhesive Interfaces Reinforced with Magnetic Nanoparticles: Evaluation and Modeling with Micro-CT versus Optical Microscopy. **Materials**, v. 13, n. 18, p. 3908, 2020.

ZHANG, L.; WEIR, M.D.; CHOW, L.C.; ANTONUCCI, J.M.; CHEN, J.; XU, H.H. Novel rechargeable calcium phosphate dental nanocomposite. *Dental materials* : official publication of the Academy of Dental Materials, v. 32, n. 2, p. 285–293, 2016.

ZHANG, L.; WANG, W.; WANG, C.; LI, M.; WANG, Z.; SU, Z.; FU, B. Interaction of ACP and MDP and its effect on dentin bonding performance. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 91, p. 301-308, 2019.

ZHANG, L.; WEIR, M. D.; HACK, G.; FOUAD, A. F.; XU, H. H. Rechargeable dental adhesive with calcium phosphate nanoparticles for long-term ion release. **Journal of Dentistry**, v. 43, n. 12, p. 1587-1595, 2015a.

ZHOU, Y.; YANG, J.; LIN, Z.; LI, J.; LIANG, K.; YUAN, H.; LI, S.; LI, J. Triclosanloaded poly (amido amine) dendrimer for simultaneous treatment and remineralization of human dentine. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 115, p. 237-243, 2014

APÊNDICE 1. Estratégia de busca utilizada para cada base de dados

BASE DE DADOS	ESTRATÉGIA DE BUSCA
PubMed	((Nanotechnology[MeSH] OR Nanotechnologies[tw] OR Nanostructure[MeSH] OR Nanostructures[tw] OR Nanomaterial[tw] OR Nanomaterials[tw] OR Nanoparticle[MeSH] OR Nanoparticles[tw]) AND ("Dentin-Bonding Agents"[MeSH] OR "Dentin-Bonding Agent" [tw] OR "Agent, Dentin-Bonding"[tw] OR "Agents, Dentin-Bonding" [tw] OR "Dentin Bonding Agents" [tw] OR "Bonding Agents, Dentin"[tw] OR "Agent, Dentin Bonding"[tw] OR "Agents, Dentin Bonding"[tw] OR "Bonding Agent, Dentin"[tw] OR "Dentin Bonding Agent"[tw] OR "Dental Adhesive"[tw] OR "Dental Adhesives"[tw] OR "Adhesive, Dental"[tw] OR "Adhesives, Dental"[tw] OR "Adhesive System"[tw] OR "Adhesive Systems"[tw] OR "Adhesive Material"[tw] OR "Adhesive Materials"[tw] OR "Etch-And-Rinse Adhesive"[tw] OR "Etch-And-Rinse Adhesives"[tw] OR "Total-Etch Adhesive"[tw] OR "Total-Etch Adhesives"[tw] OR "Self-Etch Adhesive"[tw] OR "Self-Etch Adhesives"[tw] OR "Self-Etching Adhesive"[tw] OR "Self-Etching Adhesives"[tw] OR "All-In-One Adhesive"[tw] OR "All-In-One Adhesives"[tw] OR "One-Bottle Adhesive"[tw] OR "One-Bottle Adhesives"[tw] OR "Universal adhesive" [tw] OR "Universal adhesives" [tw]))
Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("nanotechnology" OR "nanostructure" OR "nanomaterial" OR "nanoparticle") AND TITLE-ABS-KEY ("dentin-bonding agents" OR "dental adhesive" OR "adhesive system" OR "adhesive material" OR "etch-and-rinse adhesive" OR "total-etch adhesive" OR "self-etch* adhesive" OR "all-in-one adhesive" OR "one-bottle adhesive" OR "universal adhesive"))
ClinicalTrials.gov	Dental Caries AND Nanotechnology AND Dentin-Bonding Agents OR Dental Adhesives OR Dental Adhesives OR Adhesive Systems OR Etch-And-Rinse Adhesives OR Total-Etch Adhesives OR Self-Etch Adhesives OR Self-Etching Adhesives OR All-In-One Adhesives OR One-Bottle Adhesives OR Universal Adhesives Dental Caries AND Nanostructure AND Dentin-Bonding Agents OR Dental Adhesives OR Dental Adhesives OR Adhesive Systems OR Etch-And-Rinse Adhesives OR Total-Etch Adhesives OR Self-Etch Adhesives OR Self-Etching Adhesives OR All-In-One Adhesives OR One-Bottle Adhesives OR Universal Adhesives

	Dental Caries AND Nanomaterial AND Dentin-Bonding Agents OR Dental Adhesives OR Dental Adhesives OR Adhesive Systems OR Etch-And-Rinse Adhesives OR Total-Etch Adhesives OR Self-Etch Adhesives OR Self-Etching Adhesives OR All-In-One Adhesives OR One-Bottle Adhesives OR Universal Adhesives Dental Caries AND Nanoparticles AND Dentin-Bonding Agents OR Dental Adhesives OR Dental Adhesives OR Adhesive Systems OR Etch-And-Rinse Adhesives OR Total-Etch Adhesives OR Self-Etch Adhesives OR Self-Etching Adhesives OR All-In-One Adhesives OR One-Bottle Adhesives OR Universal Adhesives
Google Acadêmico	allintitle: (Nanotechnology OR Nanotechnologies OR Nanomaterial OR Nanomaterials OR Nanoparticle OR Nanoparticles OR Nanostructure OR Nanostructures) AND ("Dentin-Bonding Agents" OR "Dentin-Bonding Agent" OR "Dentin Bonding Agents" OR "Dentin Bonding Agent" OR "Dental Adhesive" OR "Dental Adhesives" OR "Adhesive System" OR "Adhesive Systems" OR "Adhesive Material" OR "Adhesive Materials" OR "Etch-And-Rinse Adhesive" OR "Etch-And-Rinse Adhesives" OR "Total-Etch Adhesive" OR "Total-Etch Adhesives" OR Self-Etch* Adhesive OR Self-Etch* Adhesives OR "All-In-One Adhesive" OR "All-In-One Adhesives" OR "One-Bottle Adhesive" OR "One-Bottle Adhesives" OR "Universal Adhesive" OR "Universal Adhesives")

ANEXO 1: Itens da lista de checagem PRISMA 2020

SEÇÃO E TÓPICO	ITEM	ITEM DA LISTA DE CHECAGEM	LOCALIZAÇÃO DO ITEM RELATADO
TÍTULO			
Título	1	Identifique a publicação como uma revisão sistemática.	
RESUMO			
Resumo	2	Veja a lista de checagem PRISMA 2020 para Resumos* (Tabela 2)	
INTRODUÇÃO			
Justificativa	3	Descreva a justificativa da revisão no contexto do que já é conhecido.	
Objetivo	4	Apresente uma afirmação explícita dos objetivos ou questões abordadas pela revisão	
MÉTODOS			
Crítérios de elegibilidade	5	Especifique critérios de inclusão e exclusão da revisão e como os estudos foram agrupados nas sumarizações	
Fontes de informação	6	Especifique todas as bases de dados, repositórios de registros, sites, organizações, listas de referências e outras fontes pesquisadas ou consultadas para identificar estudos. Especifique a data em que cada fonte foi pesquisada ou consultada pela última vez.	
Estratégia de busca	7	Apresente as estratégias de busca completas para todas as bases de dados, repositórios de registros e sites, incluindo filtros ou limites usados.	
Processo de seleção	8	Especifique os métodos usados para decidir se um estudo atendeu aos critérios de inclusão da revisão, incluindo quantos revisores selecionaram cada registro e publicação recuperados, se trabalharam de forma independente e, se aplicável, detalhes de ferramentas de automação utilizadas no processo.	
Processo de coleta de dados	9	Especifique os métodos usados para coletar dados das publicações, incluindo quantos revisores coletaram dados de cada publicação, se eles trabalharam de forma independente, quaisquer processos para obter ou confirmar dados com os autores do estudo e, se aplicável, detalhes de ferramentas de automação utilizadas no processo.	
Lista de dados		Liste e defina todos os desfechos cujos dados foram coletados.	

	10a	Especifique se foram coletados de cada estudo todos os resultados compatíveis com cada domínio de desfecho (ex.: para todas as medidas, ponto de tempo, análises), e se não, quais os métodos usados para decidir quais resultados coletar.	
	10b	Liste e defina todas as outras variáveis cujos dados foram coletados (ex.: características dos participantes e da intervenção, fontes de financiamento). Descreva pressupostos adotados para casos de informações faltantes ou pouco claras.	
Avaliação do risco de viés dos estudos	11	Especifique os métodos usados para avaliar o risco de viés nos estudos incluídos, incluindo detalhes da(s) ferramenta(s) usada(s), quantos revisores avaliaram cada estudo e se trabalharam de forma independente e, se aplicável, detalhes de ferramentas de automação usadas no processo.	
Medidas de efeito	12	Especifique para cada desfecho a(s) medida(s) de efeito (ex.: risco relativo, diferença de médias) usadas na sumarização ou apresentação dos resultados	
Métodos de síntese	13a	Descreva os processos usados para decidir quais estudos foram elegíveis para cada síntese [ex.: tabulação das características da intervenção do estudo e comparação com os grupos planejados para cada sumarização (item 5)].	
	13b	Descreva métodos demandados para preparar os dados para apresentação ou síntese, como manejo de dados faltantes nas estatísticas de sumarização ou conversões de dados.	
	13c	Descreva métodos usados para tabular ou ilustrar visualmente os resultados de estudos individuais e sínteses.	
	13d	Descreva métodos usados para sumarizar os resultados e apresente justificativa para a(s) escolha(s). Se uma meta-análise foi realizada, descreva o(s) modelo(s), método(s) para identificar a presença e extensão	

	13e 13f	da heterogeneidade estatística e o(s) pacote(s) de software utilizado(s). Descreva métodos usados para explorar as possíveis causas de heterogeneidade entre os resultados dos estudos (ex.: análise de subgrupo, metarregressão). Descreva análises de sensibilidade conduzidas para avaliar a robustez dos resultados sumarizados.	
Avaliação de vieses de publicação	14	Descreva métodos usados para avaliar o risco de viés devido a resultados faltantes em uma sumarização (decorrente de vieses de publicação).	
Avaliação da certeza	15	Descreva métodos usados para avaliar a certeza (ou confiança) no corpo de evidências de um desfecho.	
RESULTADOS			
Seleção dos estudos	16a 16b	Descreva os resultados do processo de busca e seleção, desde o número de registros identificados na busca até o número de estudos incluídos na revisão, idealmente por meio de um fluxograma. Cite estudos que parecem cumprir os critérios de inclusão, mas que foram excluídos e explique por que foram excluídos.	
Características dos estudos	17	Cite cada estudo incluído e apresente suas características.	
Risco de viés nos estudos	18	Apresente as avaliações do risco de viés de cada estudo incluído.	
Resultados de estudos individuais	19	Para todos os desfechos, apresente para cada estudo: (a) estatística sumária para cada grupo (quando apropriado) e (b) estimativa de efeito e sua precisão (ex.: intervalo de confiança/ credibilidade), idealmente utilizando tabelas estruturadas ou gráficos.	
Resultados das sínteses	20a 20b	Para cada síntese, resuma brevemente as características e o risco de viés entre os estudos contribuintes. Apresente os resultados de todas as sumarizações estatísticas realizadas. Se meta-análises foram feitas, apresente para cada uma a estimativa resumida e sua precisão (por exemplo, intervalo de confiança/credibilidade) e medidas de heterogeneidade	

	20c	estatística. Se estiver comparando grupos, descreva a direção do efeito.	
	20d	Apresente os resultados de todas as investigações das possíveis causas de heterogeneidade entre os resultados do estudo.	
		Apresente os resultados de todas as análises de sensibilidade conduz	
Vieses de publicação	21	Apresente avaliações de risco de viés devido a resultados faltantes (decorrentes de vieses de publicação) para cada sumarização avaliada.	
Certeza da evidência	22	Apresente avaliações da certeza (ou confiança) no corpo de evidências para cada desfecho avaliado.	
DISCUSSÃO			
Discussão	23a	Forneça uma interpretação geral dos resultados no contexto de outras evidências.	
	23b	Discuta limitações das evidências incluídas na revisão.	
	23c	Discuta limitações dos processos empregados na revisão.	
	23d	Discuta as implicações dos resultados para a prática, política e pesquisas futuras.	
OUTRAS INFORMAÇÕES			
Registro e protocolo	24a	Forneça informações de registro da revisão, incluindo o nome do repositório e o número de registro, ou declare que a revisão não foi registrada.	
	24b	Indique onde o protocolo de revisão pode ser acessado ou indique se o protocolo não foi preparado.	
	254c	Descreva e explique quaisquer alterações nas informações fornecidas no registro ou no protocolo.	
Apoio	25	Descreva as fontes de apoio financeiro ou não financeiro para a revisão e o papel dos financiadores ou patrocinadores na revisão.	
Conflito de interesses	26	Declare quaisquer conflitos de interesse dos autores da revisão.	
Disponibilidade de dados, códigos e outros materiais	27	Relate quais dos itens a seguir estão disponíveis publicamente e onde podem ser encontrados: modelos de	

		formulários para coleta de dados; dados extraídos dos estudos incluídos; dados usados para todas as análises; comando analítico; outros materiais usados na revisão.	
--	--	--	--

ANEXO 2: Lista de checagem PRISMA 2020 para resumos

SEÇÃO E TÓPICO	ITEM	ITEM DA LISTA DE CHECAGEM
TÍTULO		
Título	1	Identifique a publicação como revisão sistemática.
INTRODUÇÃO		
Objetivos	2	Forneça uma declaração explícita dos objetivos ou perguntas principais que a revisão aborda.
MÉTODOS		
Crítérios de elegibilidade	3	Especifique os critérios de inclusão e exclusão da revisão
Fontes de informações	4	Especifique as fontes de informação (ex.: bases de dados, repositórios) usadas para identificar os estudos e a data em que cada um foi pesquisado pela última vez
Risco de viés	5	Especifique os métodos usados para avaliar o risco de viés nos estudos incluídos.
Síntese dos resultados	6	Especifique os métodos usados para apresentar e sintetizar os resultados.
RESULTADOS		
Estudos incluídos	7	Apresente o número total de estudos incluídos e participantes e resuma as características relevantes dos estudos
Síntese dos resultados	8	Apresente os resultados para os desfechos primários, de preferência indicando o número de estudos incluídos e participantes de cada. Se meta-análise foi feita, relate a estimativa sumária e o intervalo de confiança/credibilidade. Se estiver comparando grupos, indique a direção do efeito (ou seja, qual grupo é favorecido).
DISCUSSÃO		
Limitação das evidências	9	Forneça um breve resumo das limitações das evidências incluídas na revisão (ex.: risco de viés dos estudos, inconsistência e imprecisão).
Interpretação	10	Forneça uma interpretação geral dos resultados e implicações relevantes.
OUTROS		
Financiamento	11	Especifique a fonte primária de financiamento da revisão.
Registro	12	Informe o repositório e o número de registro.