

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 04/02/2027.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

RAFAEL PINTO DE MENDONÇA

**IMPACTO DA APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS REMINERALIZANTES
PÓS CONDICIONAMENTO NA ADESÃO LONGITUDINAL À
DENTINA: estudo *in vitro***

RAFAEL PINTO DE MENDONÇA

**IMPACTO DA APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS REMINERALIZANTES PÓS
CONDICIONAMENTO NA ADESÃO LONGITUDINAL À DENTINA:
*estudo in vitro***

Tese apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTOR, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Dentística. Linha de pesquisa: Avaliação clínica e laboratorial de alterações da estrutura dental de materiais e técnicas de prevenção e tratamento em dentística.

Orientador: Prof. Tit. Sérgio Eduardo de Paiva Gonçalves

Co-orientador: Prof. Tiago Moreira Bastos Campos

São José dos Campos

2025

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2025]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Mendonça, Rafael Pinto de

Impacto da aplicação de substâncias remineralizantes pós condicionamento na adesão longitudinal à dentina: estudo in vitro / Rafael Pinto de Mendonça. - São José dos Campos : [s.n.], 2025.
97 f. : il.

Tese (Doutorado em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2025.

Orientador: Sérgio Eduardo de Paiva Gonçalves

Coorientador: Tiago Moreira Bastos Campos

1. Remineralização dentinária. 2. Sistemas adesivos. 3. Interface adesiva. 4. Biopartícula. 5. Materiais bioativos. I. Gonçalves, Sérgio Eduardo de Paiva, orient. II. Campos, Tiago Moreira Bastos, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. V. Universidade Estadual Paulista (UNESP). VI. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O uso de biopartículas remineralizantes demonstrou significativo impacto em substratos dentinários desmineralizados, promovendo aumento na qualidade e longevidade adesiva. Tais resultados podem impactar novas pesquisas, com aplicabilidade clínica, beneficiando inúmeros pacientes que possuem alterações de substrato pelas mais diversas razões.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The use of remineralizing bioparticles has shown a significant impact on demineralized dentin substrates, promoting an increase in adhesive quality and longevity. Such results may influence new research with clinical applicability, benefiting numerous patients who have substrate alterations for various reasons.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Tit. Sérgio Eduardo de Paiva Gonçalves (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Tit. Marcos de Oliveira Barceleiro

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Instituto de Saúde de Nova Friburgo

Campus de Nova Friburgo

Profa. Adj. Fernanda Signorelli Calazans

Universidade Federal Fluminense (UFF)

Instituto de Saúde de Nova Friburgo

Campus de Nova Friburgo

Prof. Assoc. Eduardo Bresciani

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Profa. Assoc. Taciana Marco Ferraz Caneppele

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

São José dos Campos, 04 de fevereiro de 2025.

DEDICATÓRIA

Dedico este produto final de todos esses anos de doutorado, a todos aqueles por quem nutri admiração ao longo dos anos:

À **minha família originária**, meu pai, minha mãe e meu irmão, que foram a base de todo o caminho que consegui trilhar até aqui. Sem seu apoio emocional e financeiro, ensinamentos, oportunidades e vivências proporcionadas desde minha infância, eu jamais teria chegado tão longe.

À **minha família de coração**, ao Dario e ao Ricky, a quem eu reconheço como lar, que me trouxeram amor e alegria, e proporcionaram confortáveis refúgios, necessários para eu manter os pés no chão e o foco no que era mais importante nos inúmeros turbilhões que se apresentaram ao longo do caminho.

A todos os **meus amigos de fora da UNESP**, que tanto sentiram minha falta em momentos importantes, os quais tive que abrir mão por conta da correria da rotina de um doutorando. Obrigado por não desistirem de mim, e terem sido compreensivos e me apoiado nessa jornada meio louca até aqui.

Aos **meus amigos da pós-graduação**, que se fizeram presentes em todos os momentos altos e baixos ao longo de todos esses anos. É graças a vocês que eu fui capaz de manter a estabilidade emocional necessária e enfrentar cada desafio, para então cruzar a linha de chegada que finalmente se aproxima.

À toda **equipe da OESP Prime Paulista e Ory Clínica**, que me apoiaram durante toda a jornada, confiando no meu trabalho e nas minhas decisões, mesmo com meus dias e horários confusos ao longo de todos esses anos. Laura e Silvio, vocês são seres de luz em meu caminho, e por todas as oportunidades que me propiciaram, terão minha eterna gratidão.

Ao **Grupo Brasileiro de Professores de Dentística**, que, de certa forma, me abriu uma infinidade de portas que me permitiram conhecer pessoas, ter oportunidades de

trabalho e visibilidade, que me ajudaram muito a conquistar cada vitória até aqui.

A todos os **meus mestres**, professores que conheci ao longo do caminho da odontologia, e em especial à profa. Fernanda Calazans, ao prof. Marcos Barceleiro e profa. Silvia Alencar, que tanto me ensinaram e lapidaram minhas inseguranças. Vocês enxergaram em mim muito mais do que eu sequer imaginava existir. E foi acreditando em vocês, que hoje eu finalmente sou capaz de entender o meu propósito na profissão.

Por fim, ao **meu orientador**, prof. Sérgio Gonçalves, que me acolheu desde o princípio, e com serenidade e firmeza na medida certa, me ajudou a preencher o que havia de incompleto na minha formação, e a enxergar e aprimorar o que há de melhor em mim. Você foi meu guia, e nessa parceria que transcende a relação de orientador-aluno, hoje já posso chamá-lo de grande amigo.

Eis aqui o epílogo de todos os meus sacrifícios. O final de uma linda jornada.

A melhor versão de mim.

(por enquanto)

AGRADECIMENTOS

À minha equipe de pesquisa, em especial ao **Jefferson Silva Júnior**, que foi meu braço direito durante sua passagem pela pós-graduação; à **Tânia Mara da Silva**, que aturou minhas mensagens na madrugada com dúvidas metodológicas; ao **Claudio Moreira, Victória Garcia e Mateus Rodrigues**, que compartilharam experiências na equipe e me ajudaram a iniciar meus trabalhos; e aos meus queridos alunos de iniciação científica, **Jéssica Lima, Gustavo Bevilaqua, Cauã Santiago e Daniel Kaleb**, que colaboraram nos estudos e me ajudaram a me tornar um professor e orientador melhor a cada passo; ao meu Co-orientador, prof. **Tiago Moreira**, que foi fundamental para o entendimento e análises realizadas ao longo desse estudo; e ao meu orientador, prof. **Sérgio Gonçalves**, que foi o meu grande guia ao longo desse trabalho.

Ao programa de pós-graduação, em especial aos professores do departamento de Dentística, com destaque ao **Eduardo Bresciani, Taciana Caneppele e Filomena Huhtala**, que contribuíram em peso para o meu desenvolvimento como docente e pesquisador. Cada ensinamento, cada conversa, cada puxada de orelha, foram importantes para me fazer amadurecer, e certamente hoje me tornaram muito mais completo e mais competente em tudo que me propuser a fazer daqui em diante.

Aos meus amigos da pós-graduação que acompanharam, em especial aos que me ajudaram de alguma forma a lapidar cada técnica utilizada neste trabalho: **Taiana, Pedro, Amanda, Sabrina, Luis, Luana, Ítalo, Matheus, Marcella, Juliana e Gabriela**. Vocês são a prova de que trabalhar de forma colaborativa é muito mais gratificante, e foram marcantes do início ao fim da minha jornada. Por isso, serei eternamente grato.

Aos técnicos de laboratório e clínica, **Evelyn, Gabriela e Josi**, que estavam sempre presentes e solícitas para colaborar nos laboratórios e clínicas; à **Bianca, Jéssica, Clodoaldo e Thais**, com quem tive a oportunidade de compartilhar experiências no laboratório; ao **Sérgio**, do laboratório de Patologia, que me ajudou a processar e captar belíssimas imagens de lâminas para o meu trabalho.

Aos funcionários do Instituto de Ciência e Tecnologia da UNESP, que sempre se demonstraram muito educados e prestativos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da Bolsa de Doutorado no período de 01/03/2023 a 04/02/2025, que foi fundamental para garantir parte do meu sustento durante o curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001. Programa de Demanda Social – Número do processo 88887.829785/2023-00.

“A alma cresce à altura daquela que admira.”

- Ellen G. White

RESUMO

Mendonça RP. Impacto da aplicação de substâncias remineralizantes pós condicionamento na adesão longitudinal à dentina: estudo “in vitro”. [tese]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2025.

Este trabalho avaliou os efeitos imediatos e longitudinais de duas diferentes soluções contendo biopartículas com potencial remineralizante (Combeíta e α -Wollastonita), quando aplicadas como pré-tratamento em substrato condicionado com ácido fosfórico 37% (AF), seguido da aplicação de sistema adesivo universal (AU), na resistência de união à dentina (RU). Foram selecionados 72 dentes bovinos, que foram preparados de forma a expor a dentina e separados em 3 grupos (n=24): Controle - Etch-and-Rinse (CER), Experimental I - Wollastonita (WOL) e Experimental II - Combeíta (CMB). Vinte dentes de cada grupo foram submetidos ao protocolo de condicionamento e lavagem da dentina previamente ao AU, sendo WOL e CMB submetidos à aplicação das respectivas soluções previamente à aplicação do AU, e em seguida restauradas e preparadas para análise de RU à microtração. As outras 4 amostras de cada grupo foram quimicamente analisadas por meio de FTIR em cada etapa do tratamento, e em seguida restauradas, fatiadas e preparadas para análise em microscopia óptica com Tricômico de Masson (MOTM) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Metade dos palitos e fatias obtidas de cada amostra foram submetidos às análises imediatas (24h), enquanto a outra metade foi armazenada em estufa a 37°C com trocas semanais de água destilada tipo I para envelhecimento artificial por 6 meses. Os dados coletados foram tratados por meio de ANOVA 2 fatores de medidas repetidas, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), e módulo de Weibull 2 parâmetros, em software estatístico. Tanto WOL ($p < 0,001$; 47,0 MPa $\pm$ 4,28) quanto CMB ($p < 0,001$; 42,8 MPa $\pm$ 4,44) demonstraram resultados de RU estatisticamente superiores ao CER (36,9 MPa $\pm$ 4,62), e com diferença estatística entre si ($p = 0,044$), com a maior média referente a WOL nos resultados imediatos. Após o envelhecimento, constatou-se queda estatisticamente significativa entre o grupo CER imediato e CER envelhecido ($p = 0,013$), além da manutenção da diferença estatística entre o CER envelhecido ($p < 0,001$; 31,2 MPa $\pm$ 4,63) e os grupos WOL (45,1 MPa $\pm$ 6,44) e CMB (42,2 MPa $\pm$ 5,78) envelhecidos, que não apresentaram diferença estatística entre seus pares imediatos e nem entre si. O módulo de Weibull não indicou diferença estatística entre os grupos. A espectroscopia FTIR demonstrou que ambas as substâncias foram capazes de promover reposição mineral após condicionamento com AF. A MEV imediata evidenciou diferenças na qualidade da hibridização entre o grupo CER e os grupos WOL e CMB. A MOTM evidenciou uma menor formação de zona de fragilidade nos grupos WOL e CMB em comparação ao CER. As biopartículas remineralizantes demonstraram ser eficazes na reposição mineral da dentina condicionada e promissoras na adesão imediata e longitudinal com sistema adesivo universal utilizado no modo de condicionamento e lavagem.

Palavras-chave: remineralização dentinária; sistemas adesivos; interface adesiva; biopartícula; materiais bioativos

ABSTRACT

Mendonça RP. *Impact of the application of remineralizing agents after etching on longitudinal adhesion to dentin: an "in vitro" study.* [doctorate thesis]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (UNESP), Institute of Science and Technology; 2025.

This study assessed the immediate and longitudinal effects on dentin and bond strength (RU) of two different bioparticles, both with remineralizing potential (Combeite and α -Wollastonite). Substances were applied in the form of a solution, as a pre-treatment on an etched substrate with 37% phosphoric acid (AF) and followed by application of a universal adhesive system (AU). Seventy-two bovine teeth with exposed dentin were selected and separated into three groups ($n=24$): Control Etch-and-Rinse (CER), Experimental Wollastonite (WOL) and Experimental Combeite (CMB). Twenty teeth from each group were submitted to Etch-and-rinse AU protocol. WOL and CMB were submitted to application of the respective solutions prior to the application of AU. After, they were restored and prepared for microtensile RU analysis. The other 4 samples from each group were chemically analyzed by means of spectroscopy FTIR at each treatment step, followed by restoration, slicing and preparation for analysis using Masson's Trichrome Optical Microscopy (MOTM) and Scanning Electron Microscopy (SEM). Half of the sticks and slices obtained from each sample was subjected to immediate analyses (24 hours). The other half was stored in an oven at 37°C with weekly changes of type I distilled water for artificial ageing for 6 months. The data collected was treated using a 2-factor ANOVA of repeated measures, with a significance level of 5% ($p<0.05$), and 2-parameter Weibull test, using statistical software. Both WOL ($p<0.001$; 47.0 MPa $\pm$ 4.28) and CMB ($p<0.001$; 42.8 MPa $\pm$ 4.44) showed RU results that were statistically higher than CER (36.9 MPa $\pm$ 4.62), and with a statistical difference between them ($p=0.044$), with the highest mean for WOL in the immediate results. After aging, there was a statistically significant drop between the immediate CER group and the aged CER group ($p=0.013$), and a statistical difference was maintained between the aged CER ($p<0.001$; 31.2 MPa $\pm$ 4.63) and the aged WOL (45.1 MPa $\pm$ 6.44) and CMB (42.2 MPa $\pm$ 5.78) groups, which showed no statistical difference between their immediate counterparts or between each other. Weibull test did not indicate a statistical difference between groups. FTIR spectroscopy showed that both substances were able to promote mineral replacement after conditioning with HF. Immediate SEM showed differences in hybridization quality between the CER group and the WOL and CMB groups. MOTM showed less fragility zone formation in the WOL and CMB groups compared to CER. The remineralizing bioparticles proved to be effective in mineral replenishment of conditioned dentin and promising in immediate and longitudinal adhesion with the universal adhesive system used in the etch-and-rinse mode.

Keywords: dentin remineralization; adhesive systems; adhesive interface; bioparticle; bioactive materials

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Evolução e desafios da adesão.....	18
2.2 Materiais bioativos de ação remineralizante	27
3 PROPOSIÇÃO	34
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1 Delineamento experimental	35
4.1.1 Fatores em estudo.....	36
4.2 Aspectos éticos	36
4.3 Materiais empregados.....	36
4.4 Obtenção das soluções de alfa-wollastonita e combeíta.....	37
4.5 Obtenção e preparo dos espécimes	38
4.5.1 Divisão dos grupos experimentais e protocolo restaurador	40
4.5.2 Secção e armazenamento das amostras.....	43
4.6 Teste de resistência de união à microtração (RU).....	44
4.7 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)..	46
4.8 Microscopia Óptica com coloração de Tricômico de Masson (MOTM) ...	48
4.9 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	49
4.10 Planejamento Estatístico	50
5 RESULTADO	52
5.1 Teste de resistência de união à microtração	52
5.1.1 Estatística Descritiva.....	52
5.1.2 Estatística Inferencial.....	54
5.1.3 Análise do tipo de fratura	59
5.2 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)..	60
5.3 Microscopia Óptica com coloração de Tricômico de Masson (MOTM) ...	62
5.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	65

6 DISCUSSÃO	72
7 CONCLUSÃO	80
REFERÊNCIAS.....	81

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, os sistemas adesivos evoluíram de uma forma que permitiu diferentes abordagens para a formação da camada híbrida, seja através do condicionamento prévio da dentina, técnica conhecida como “Convencional”, “Condicionamento e Lavagem”, ou “Etch-and-Rinse” (ER), ou por meio da aplicação direta do sistema sob a estrutura dentinária, com a técnica “Autocondicionante” ou “Self-Etch” (SE) (Perdigão et al., 2021; van Meerbeek et al., 2020). Apesar dos avanços, no entanto, ainda existem fatores que comprometem a longevidade das restaurações, como a hidrólise dos polímeros e/ou da própria fibra colágena, seja por ação química dos fluidos e solventes orais, ou enzimática, pela ativação de enzimas conhecidas como metaloproteinases (MMPs), esterases e enzimas do complexo cisteíno-catepsinas (Feitosa et al., 2019; Spencer et al., 2012; Spencer et al., 2019; Tay et al., 2002; van Landuyt et al., 2005).

Somado a isso, existem situações clínicas em que os substratos dentais sofrem modificações estruturais indesejáveis, tornando-os menos favoráveis à adesão. Em dentes de pacientes submetidos à radiação ionizante, para tratamento de câncer de cabeça e pescoço, ocorre uma perda gradual do conteúdo mineral e orgânico da dentina devido a ação dos radicais livres, em especial na presença de água, tornando as fibras colágenas mais frágeis e consequentemente mais difícil de promover uma adesão satisfatória (Arid et al., 2020; Douchy et al., 2022; Gupta et al., 2022; Lopes et al., 2021; Muñoz et al., 2020; Oglakci et al., 2022; Rodrigues et al., 2018). Já em dentes que sofrem de processo erosivo, ocorre uma gradual perda mineral, resultando em uma dentina com matriz colágena desnaturada exposta e túbulos dentinários de diâmetros aumentados, promovendo uma formação de camada híbrida instável e mais fraca, com menor penetração dos monômeros resinosos dos sistemas adesivos (Frattes et al., 2017; Siqueira et al., 2023; Wendlinger et al., 2023; Wiegand et al., 2020). Alterações também ocorrem na dentina esclerosada, ou em substratos afetados por cárie, o que também levam a efeitos negativos na adesão (Florescu et al., 2015; Hass et al., 2019; Silva et al., 2022; Xuan W et al., 2010).

Desde o início da observação e estudos da hibridização, com Nakabayashi (1982), observou-se uma série de mudanças no protocolo inicialmente proposto pelo

autor. Apesar dos resultados positivos de resistência de união do cloreto férrico 3% na fixação e estabilização do colágeno dentinário condicionado com um ácido mais brando (ácido cítrico 10%), o ácido fosfórico se manteve como principal agente condicionador até os dias atuais, mesmo com seu potencial mais agressivo e consequente maior vulnerabilidade à ação hidrolítica. Isso graças à molécula HEMA (2-hidroxietilmetacrilato), incorporada à grande maioria dos sistemas adesivos, capaz de re-expandir o colágeno colapsado, porém dando uma característica exageradamente hidrófila à interface (Nakabayashi, 1992; Nakabayashi et al., 1991, 1992; Nakabayashi, Kojima, Matsuhara, 1982; Nakabayashi, Takarada, 1992). O uso do cloreto férrico, desde aquela época, já demonstrava o potencial do uso de agentes cross-linkers na estabilidade da camada híbrida, algo que acabou sendo esquecido com o avanço dos materiais adesivos, mas que vem sendo resgatado em estudos mais recentes (Bedran-Russo et al., 2008, 2014; Comba et al., 2020).

Nesse sentido, diversas pesquisas têm sido realizadas a fim de impedir ou minimizar o processo de degradação adesiva, seja através de diferentes abordagens de condicionamento das estruturas dentárias e selamento das margens das restaurações (Ahmed et al., 2022; Anastasiadis et al., 2024; Chen et al., 2022; Gonçalves LL et al., 2024; Hass et al., 2021; Sato et al., 2019; Shimatani et al., 2019), otimização das técnicas de aplicação de sistemas adesivos já utilizados (Ahrmed et al., 2020; Chasqueira et al., 2020; González et al., 2024; Jacker-Guhr et al., 2019; Ñaupari-Villasante et al., 2023; Tang et al., 2024; Yoshihara et al., 2021), inibição da ação enzimática na biodegradação das fibras colágenas não completamente envolvidas pelos monômeros resinosos (Cardoso et al., 2023; Chu et al., 2019; Costa et al., 2019; Sanon et al., 2019; Siqueira et al., 2019), entre outras aplicações com materiais bioativos utilizados em etapas adicionais nos procedimentos, ou embutidos na formulação dos materiais (Dipalma et al., 2024). Em substratos alterados, no entanto, além dessas medidas, a biomodificação por meio de materiais bioativos ou aplicação de laser de alta potência (Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG) nos substratos ou sobre os materiais adesivos tem ganhado força, considerando o desafio oferecido na formação de uma camada híbrida apropriada em tais condições (Bedran-Russo et al., 2014; Lopes et al., 2022; Marimoto et al., 2013; Ramos et al., 2015; Rao et al., 2023; Ribeiro et al., 2013; Sun et al., 2023).

A proposta do modo autocondicionante dos sistemas adesivos até tem

potencial de evitar a desmineralização excessiva da dentina durante o processo adesivo em substratos normais, e consequentemente eliminar a possibilidade de alguns dos efeitos deletérios mencionados (van Meerbeek et al., 2020). Entretanto, não há relatos desta técnica por si só reverter a desmineralização de processos patológicos (cárie, erosão e efeitos de radiação), além de não haver comprovação clínica de melhores resultados de retenção das restaurações em comparação com a técnica de condicionamento e lavagem (Dreweck et al., 2021; Hass et al., 2019; Ma et al., 2023; Peumans et al., 2023; Schroeder et al., 2017), que ainda continua muito utilizada pelos profissionais. Além disso, ainda é possível observar processos de degradação, independente da técnica utilizada (Feitosa et al., 2019), principalmente quando se trata de adesivos simplificados, como é o caso dos adesivos universais, que apesar de estarem apresentando bons resultados de desempenho clínico longitudinal (Zanatta et al., 2019), possuem especificidades que não podem ser ignoradas quanto ao seu processo de degradação, observadas em laboratório (Jacker-Guhr et al., 2019; Yamauchi et al., 2019).

Há um destaque recente às pesquisas relacionadas à remineralização dentinária, seja por componentes adicionados aos materiais restauradores (Liang et al., 2019; Lima et al., 2024; Mousavinasab et al., 2023; Tao et al., 2019; Wang et al., 2019) ou substâncias com potencial remineralizante aplicadas sobre o tecido como pré-tratamento (Bai et al., 2024; Chen et al., 2020; Kim et al., 2020; Tao et al., 2020; Thimmaiah et al., 2019; Yang et al., 2024; Zhou et al., 2020), com resultados bastante promissores. O grande diferencial do processo remineralizante se dá através da recuperação da parte mineral da estrutura dentinária, em especial sob o protocolo de condicionamento e lavagem, com condicionamento ácido da dentina. A ideia seria não apenas formar nova estrutura mineral na região, mas também reduzir a zona de fragilidade, de fibras colágenas desmineralizadas expostas na base da camada híbrida, com potencial de acúmulo de água residual e degradação longitudinal (Chen et al., 2020). Neste cenário, há a recuperação das propriedades biomecânicas e químicas perdidas, (He et al., 2019), com deposição do mineral na dentina, considerando a capacidade lenta das fibras colágenas promoverem a nucleação e formação da hidroxiapatita (HA), tal como a inserção de algum agente que favoreça a biomineralização (Liang et al., 2019; Zhou et al., 2012).

Nesse sentido, duas biopartículas cerâmicas promissoras, por suas

propriedades se destacam: a α -wollastonita, um silicato de cálcio sintético altamente bioativo, que quando em contato com fluidos corporais promove liberação de íons de cálcio, que precipitam e interagem com os íons fosfato do fluido, induzindo a formação de uma camada superficial de hidroxiapatita e promovendo a mineralização do colágeno (Ribas et al., 2019; Ribas et al., 2020); e a combeíta (fase cristalizada do biovidro 45S5), que possui potencial remineralizante similar à wollastonita, porém com o diferencial de também possuir propriedades antimicrobianas, sendo considerado como padrão ouro em termos de bioremineralização (Spirandeli et al., 2021). Ambas são fases cristalinas de alta bioatividade, e possuem o potencial de interagir com o ambiente biológico e se integrar quimicamente com o meio, sem a necessidade de intermediários biomiméticos, o que caracteriza uma vantagem em seu uso. Sendo assim, há interesse em se comparar a efetividade de ambas as biopartículas em substratos dentais, visando uma aplicabilidade clínica futura.

Considerando que a proposta da remineralização dentinária tem o potencial de promover maior longevidade das restaurações através da redução da degradação adesiva (Chen et al., 2020; He et al., 2019; Kim et al., 2020; Liang et al., 2019; Tao et al., 2019, 2020; Thimmaiah et al., 2019; Wang et al., 2019; Zhou et al., 2020); aliado à necessidade de contornar efeitos deletérios em substratos desfavoráveis à adesão, através de estudos com materiais e técnicas com potencial de biomodificação (Bedran-Russo et al., 2014; Lopes et al., 2022; Marimoto et al., 2013; Ramos et al., 2015; Rao et al., 2023; Rodrigues et al., 2018; Silva et al., 2022; Sun et al., 2023; Wendlinger et al., 2023); além da utilização prevalente da técnica de condicionamento ácido em dentina por parte dos dentistas, há a necessidade de estudos que não apenas observem o processo remineralizante em si, mas também testem protocolos de aplicação clinicamente viáveis, além da observação dos resultados imediatos e longitudinais da adesão nesses substratos, quando em comparação aos substratos não tratados (Braga, Fronza, 2020). Com isso, será possível indicar potencial real de aplicabilidade clínica, visando uma adesão mais confiável à longo prazo.

7 CONCLUSÃO

As biopartículas remineralizantes demonstraram ser eficazes na reposição mineral da dentina condicionada e promissoras na adesão imediata e longitudinal com sistema adesivo universal utilizado no modo de condicionamento e lavagem. Mais estudos seriam interessantes de serem conduzidos, a fim de testar estes resultados clinicamente e em substratos dentinários em condições atípicas.

REFERÊNCIAS

Abreu BD, Scatolin RS, Corona SAM, Curylofo Zotti FA. Biomodification of eroded and abraded dentin with epigallocatechin-3-gallate (EGCG). *J Mech Behav Biomed Mater*. 2023 Nov;147:106158. doi: 10.1016/j.jmbbm.2023.106158. Epub 2023 Oct 1. PMID: 37804676.

Ahmed M, Yao C, Van Landuyt K, Peumans M, Van Meerbeek B. Dentin conditioned with a metal salt-based conditioner. *Dent Mater*. 2022 Mar;38(3):554-567. doi: 10.1016/j.dental.2021.12.137. Epub 2022 Jan 31. PMID: 35105466.

Ahmed MH, Yao C, Van Landuyt K, Peumans M, Van Meerbeek B. Extra Bonding Layer Compensates Universal Adhesive's Thin Film Thickness. *J Adhes Dent*. 2020;22(5):483-501. doi: 10.3290/j.jad.a45179. PMID: 33073780.

Ahmed MH, Yoshihara K, Yao C, Okazaki Y, Van Landuyt K, Peumans M, et al. Multiparameter evaluation of acrylamide HEMA alternative monomers in 2-step adhesives. *Dent Mater*. 2021 Jan;37(1):30-47. doi: 10.1016/j.dental.2020.10.002. Epub 2020 Nov 18. PMID: 33220993.

Anastasiadis K, Nassar M. The effect of different conditioning agents on dentin roughness and collagen structure. *J Dent*. 2024 Sep;148:105222. doi: 10.1016/j.jdent.2024.105222. Epub 2024 Jun 29. PMID: 38950766.

Arid J, Palma-Dibb RG, de Oliveira HF, Nelson-Filho P, de Carvalho FK, da Silva LAB, et al. Radiotherapy impairs adhesive bonding in permanent teeth. *Support Care Cancer*. 2020 Jan;28(1):239-247. doi: 10.1007/s00520-019-04782-5. Epub 2019 Apr 24. PMID: 31020438.

Armstrong S, Breschi L, Özcan M, Pfefferkorn F, Ferrari M, Van Meerbeek B. Academy of Dental Materials guidance on in vitro testing of dental composite bonding effectiveness to dentin/enamel using micro-tensile bond strength (μ TBS) approach. *Dent Mater*. 2017 Feb;33(2):133-143. doi: 10.1016/j.dental.2016.11.015. Epub 2016 Dec 20. PMID: 28007396.

Bacelar-Sá R, Giannini M, Ambrosano GMB, Bedran-Russo AK. Dentin Sealing and Bond Strength Evaluation of Hema-Free and Multi-Mode Adhesives to Biomodified Dentin. *Braz Dent J*. 2017 Nov-Dec;28(6):731-737. doi: 10.1590/0103-6440201701522. PMID: 29211130.

Bai T, Chen H, Wei F, Sun G, Chen X, Shi Z, et al. Assessing the impact of different Urushiol primer solvents on dentin remineralization and bond strength. *Clin Oral Investig*. 2024 Aug 26;28(9):500. doi: 10.1007/s00784-024-05892-z. PMID: 39186077.

Bayne SC. Correlation of clinical performance with “in vitro tests” of restorative dental materials that use polymer based matrices. *Dent Mater*. 2012;28(1):52-81. doi: 10.1016/j.dental.2011.08.594

Bedran-Russo AK, Pauli GF, Chen SN, McAlpine J, Castellan CS, Phansalkar RS, et al. Dentin biomodification: Strategies, renewable resources and clinical applications. *Dent Mater.* 2014;30(1):62–76. doi: 10.1016/j.dental.2013.10.012. PMID: 24309436.

Bedran-Russo AKB, Pashley DH, Agee K, Drummond JL, Miescke KJ. Changes in stiffness of demineralized dentin following application of collagen crosslinkers. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater.* 2008;86(2):330–4. doi: 10.1002/jbm.b.31022. PMID: 18161815.

Braga RR, Fronza BM. The use of bioactive particles and biomimetic analogues for increasing the longevity of resin-dentin interfaces: A literature review. *Dent Mater J.* 2020 Jan 31;39(1):62-68. doi: 10.4012/dmj.2019-293. Epub 2019 Nov 14. PMID: 31723068.

Braga RR, Habelitz S. Current Developments on Enamel and Dentin Remineralization. *Curr Oral Health Rep.* 2019;6, 257–263. <https://doi.org/10.1007/s40496-019-00242-5>

Breschi L, Maravic T, Cunha SR, Comba A, Cadenaro M, Tjäderhane L, et al. Dentin bonding systems: From dentin collagen structure to bond preservation and clinical applications. *Dent Mater.* 2018;34(1):78–96. doi: 10.1016/j.dental.2017.11.005. PMID: 29179971.

Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 1955;34(6):849–53. doi: 10.1177/00220345550340060801. PMID: 3656367.

Campos RE, Santos Filho PCF, de O Júnior OB, Ambrosano GMB, Pereira CA. Comparative evaluation of 3 microbond strength tests using 4 adhesive systems: Mechanical, finite element, and failure analysis. *J Prosthet Dent.* 2018 Jan;119(1):166-174. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.02.024. Epub 2017 May 5. PMID: 28478987.

Cao CY, Mei ML, Li QL, Lo EC, Chu CH. Methods for biomimetic remineralization of human dentine: a systematic review. *Int J Mol Sci.* 2015 Mar 2;16(3):4615-27. doi: 10.3390/ijms16034615. PMID: 25739078; PMCID: PMC4394438.

Cardenas A, Siqueira F, Nuñez A, Nonato RF, Cavalcanti K, Soares CJ, et al. Influence of Irradiance and Exposure Times on the Mechanical and Adhesive Properties of Universal Adhesives with Dentin. *Oper Dent.* 2022 Jul 1;47(4):412-424. doi: 10.2341/21-042-L. PMID: 35917253.

Cardoso F, Dallavilla GG, Boteon AP, Santos AF, Dionísio TJ, Honório HM. Effect of 10% Proanthocyanidin gel on demineralized organic matrix degradation: ELISA method. *Braz Dent Sci.* 2023;26(4):e3946. <https://doi.org/10.4322/bds.2023.e3946>

Cardoso GC, Nakanishi L, Isolan CP, Jardim PDS, Moraes RR. Bond Stability of

Universal Adhesives Applied To Dentin Using Etch-And-Rinse or Self-Etch Strategies. *Braz Dent J.* 2019 Oct 7;30(5):467-475. doi: 10.1590/0103-6440201902578. PMID: 31596331.

Carvalho EM, Stanislawczuk R, Costa T, Moura SK, Loguercio A, Bauer J. Multiple Adhesive Layering Influence on Dentin Bonding and Permeability. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2017 Mar;25(1):2-8. doi: 10.1922/EJPRD_01538Carvalho07. PMID: 28569444.

Cavalcanti KGBA, Pulido C, Moreira PHA, Monteles CF, Salvatierra BLC, Siqueira FSF, et al. Effect of irradiance and exposure time on the adhesive properties of universal adhesives after 2 years of storage. *Clin Oral Investig.* 2023 Sep;27(9):5223-5232. doi: 10.1007/s00784-023-05142-8. Epub 2023 Jul 17. PMID: 37458867.

Cavalheiro A, Cruz J, Sousa B, Silva A, Coito C, Lopes M, et al. Dentin adhesives application deviations: Effects on permeability and nanoleakage. *Dent Mater J.* 2021 Sep 30;40(5):1160-1168. doi: 10.4012/dmj.2020-404. Epub 2021 May 21. PMID: 34024885.

Chasqueira AF, Arantes-Oliveira S, Portugal J. Bonding performance of simplified dental adhesives with three application protocols: An 18-month in vitro study. *J Adhes Dent.* 2020;22(3):255–64. doi: 10.3290/j.jad.a44549. PMID: 32435766.

Chen C, Niu LN, Xie H, Zhang ZY, Zhou LQ, Jiao K, et al. Bonding of universal adhesives to dentine--Old wine in new bottles? *J Dent.* 2015 May;43(5):525-36. doi: 10.1016/j.jdent.2015.03.004. Epub 2015 Mar 20. PMID: 25797702.

Chen H, Sun G, Wang H, Yu S, Tian Z, Zhu S. Effect of collagen cross-linkers on dentin bond strength: A systematic review and network meta-analysis. *Front Bioeng Biotechnol.* 2023 Jan 24;10:1100894. doi: 10.3389/fbioe.2022.1100894. PMID: 36760752; PMCID: PMC9903368.

Chen R, Jin R, Li X, Fang X, Yuan D, Chen Zhuo, et al. Biomimetic remineralization of artificial caries dentin lesion using Ca/P-PILP. *Dent Mater.* 2020;36(11):1397–406. doi: 10.1016/j.dental.2020.08.017. PMID: 32977980.

Chiari MDS; Alania Y; Bedran-Russo AK; Braga RR. Experimental dentin adhesives containing calcium orthophosphate particles: Effect on dentin bond strength, micro-permeability and collagen degradation. *Int J Adhes Adhes.* 2021;107. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2021.102828

Chigira H, Yukitani W, Hasegawa T, Manabe A, Itoh K, Hayakawa T, Debari K, Wakumoto S, Hisamitsu H. Self-etching dentin primers containing Phenyl-P. *J Dent Res* 1994;73:1088-1095.

Chu P, Li J, Liao W, Wu S, Li Y. Effects of baicalein on the expression of collagenolytic enzymes in human dental pulp cells and durability of resin-dentin bonding. *J Adhes Dent.* 2019;21(3):273–80. doi: 10.3290/j.jad.a42548. PMID:

31165106.

Cocco AR, Rosa WL, Silva AF, Lund RG, Piva E. A systematic review about antibacterial monomers used in dental adhesive systems: Current status and further prospects. *Dent Mater.* 2015 Nov;31(11):1345-62. doi: 10.1016/j.dental.2015.08.155. Epub 2015 Sep 4. PMID: 26345999.

Comba A, Maravić T, Villalta V, Tozzola S, Mazzitelli C, Checchi V, et al. Effect of an ethanol cross-linker on universal adhesive. *Dent Mater.* 2020;36(12):1645–54. doi: 10.1016/j.dental.2020.10.004. PMID: 33187771.

Costa CAG de, Passos VF, Neri JR, Mendonça JS, Santiago SL. Effect of Metalloproteinase Inhibitors on Bond Strength of a Self-etching Adhesive on Erosively Demineralized Dentin. *J Adhes Dent.* 2019;21(4):337–44. doi: 10.3290/j.jad.a42930. PMID: 31432048.

Cruz J, Silva A, Eira R, Sousa B, Lopes M, Cavaleiro A. Dentin Permeability and Nanoleakage of Universal Adhesives in Etch-and-rinse vs Self-etch Modes. *Oper Dent.* 2021 May 1;46(3):293-305. doi: 10.2341/19-276-L. PMID: 34424991.

Dipalma G, Inchingolo AD, Guglielmo M, Morolla R, Palumbo I, Riccaldo L, et al. Nanotechnology and Its Application in Dentistry: A Systematic Review of Recent Advances and Innovations. *J Clin Med.* 2024 Sep 5;13(17):5268. doi: 10.3390/jcm13175268. PMID: 39274481; PMCID: PMC11396671.

Douchy L, Gauthier R, Abouelleil-Sayed H, Colon P, Grosogeat B, Bosco J. The effect of therapeutic radiation on dental enamel and dentin: A systematic review. *Dent Mater.* 2022 Jul;38(7):e181-e201. doi: 10.1016/j.dental.2022.04.014. Epub 2022 May 12. PMID: 35570008.

Dreweck F, Burey A, de Oliveira Dreweck M, Fernandez E, Loguercio AD, Reis A. Challenging the Concept that OptiBond FL and Clearfil SE Bond in NCCLs Are Gold Standard Adhesives: A Systematic Review and Meta-analysis. *Oper Dent.* 2021 Nov 1;46(6):E276-E295. doi: 10.2341/20-059-LIT. PMID: 34919728.

Dreweck FDS, Burey A, de Oliveira Dreweck M, Loguercio AD, Reis A. Adhesive strategies in cervical lesions: systematic review and a network meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Oral Investig.* 2021 May;25(5):2495-2510. doi: 10.1007/s00784-021-03844-5. Epub 2021 Mar 4. PMID: 33661448.

Eckert GJ, Platt JA. A statistical evaluation of microtensile bond strength methodology for dental adhesives. *Dent Mater.* 2007;23(3):385–91. doi: 10.1016/j.dental.2006.02.007. PMID: 16540162.

El Mourad AM. Assessment of bonding effectiveness of adhesive materials to tooth structure using bond strength tests methods: a review of literature. *Open Dent J.* 2018;12:664-678. doi: 10.2174/1745017901814010664

Eren D, Bektaş ÖÖ, Siso SH. Three different adhesive systems; three different

bond strength test methods. *Acta Odontol Scand*. 2013 May-Jul;71(3-4):978-83. doi: 10.3109/00016357.2012.741696. Epub 2013 Jan 24. PMID: 23347074.

Esteves SRMS, Barcellos DC, da Silva TM, Silva MR, Campos TMB, Rosetti EP, et al. How Water Content Can Influence the Chemomechanical Properties and Physical Degradation under Aging of Experimental Adhesives. *Int J Dent*. 2022 Feb 27;2022:5771341. doi: 10.1155/2022/5771341. PMID: 35265134; PMCID: PMC8898883.

Fan M, Zhou Z, Zhu W, Li M, Tu Y, Yu Z, et al. Reinforced dentin remineralization via a novel dual-affinity peptide. *Dent Mater*. 2024 Feb;40(2):254-266. doi: 10.1016/j.dental.2023.11.009. Epub 2023 Nov 19. PMID: 37989605.

Feitosa VP, Sauro S, Zenobi W, Silva JC, Abuna G, Van Meerbeek B, et al. Degradation of Adhesive-Dentin Interfaces Created Using Different Bonding Strategies after Five-year Simulated Pulpal Pressure. *J Adhes Dent*. 2019;21(3):199–207. doi: 10.3290/j.jad.a42510. PMID: 31093617.

Fernandes FP, Adorno CC, da Silva TM, França FMG, Turssi CP, Basting RT, et al. Addition of EGCG to self-etching primer: effect on adhesive properties and bond stability to dentin. *J Adhes Sci Tech*. 2020;35(17), 1895–1908. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1862450>

Ferreira SQ, Costa TR, Klein-Júnior CA, Accorinte Md, Meier MM, Loguercio AD, et al. Improvement of exposure times: effects on adhesive properties and resin-dentin bond strengths of etch-and-rinse adhesives. *J Adhes Dent*. 2011 Jun;13(3):235-41. doi: 10.3290/j.jad.a19229. PMID: 21734956.

Finger WJ, Inoue M, Asmussen E. Effect of wettability of adhesive resins on bonding to dentin. *Am J Dent*. 1994 Feb;7(1):35-8. Pubmed PMID: 9115677

Florescu A, Efrem IC, Haidoiu C, Hertzog R, Bicleșanu FC. Microscopy comparative evaluation of the SE systems adhesion to normal and sclerotic dentin. *Rom J Morphol Embryol*. 2015;56(3):1051-6. PMID: 26662138.

Frattes FC, Augusto MG, Torres CRG, Pucci CR, Borges AB. Bond Strength to Eroded Enamel and Dentin Using a Universal Adhesive System. *J Adhes Dent*. 2017;19(2):121-127. doi: 10.3290/j.jad.a38099. PMID: 28439576.

Fusayama T, Nakamura M, Kurosaki N, Iwaku M. Non-Pressure Adhesion of a New Adhesive Restorative Resin. *J Dent Res*. 1979;58(4):1364–70. doi: 10.1177/00220345790580041101. PMID: 372267.

Gan J, Liu S, Zhou L, Wang Y, Guo J, Huang C. Effect of Nd:YAG Laser Irradiation Pretreatment on the Long-Term Bond Strength of Etch-and-Rinse Adhesive to Dentin. *Oper Dent*. 2017 Jan/Feb;42(1):62-72. doi: 10.2341/15-268-L. Epub 2016 Sep 30. PMID: 27689772.

Garcia RN, Araújo Neto VG, Silva CR, Miguel LCM, Giannini M. Microshear bond

strength of universal adhesives to enamel and dentin: an eighteen-month in vitro study. *Braz Dent Sci*. 2021 Oct/Dec; 24(4 suppl 1). Doi: doi.org/10.4322/bds.2021.e2791

Gebauer D, Cölfen H. Prenucleation clusters and non-classical nucleation. *Nano Today*. 2011;6(6):564–84. doi: 10.1016/j.nantod.2011.10.005.

Giacomini MC, Candia Scaffa PM, Gonçalves RS, Jacomine JC, Zabeu GS, Carrilho MRO, et al. Performance of MDP-based system in eroded and carious dentin associated with proteolytic inhibitors: 18-Month exploratory study. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021 Feb;114:104177. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104177. Epub 2020 Oct 27. PMID: 33168489.

Gonçalves LL, Prakki A, Silva TMD, Bafail A, Bortolatto J, Stavroullakis AT, Gonçalves SEP. Longitudinal bond strength of a universal adhesive and chemical dentin characterization under different acid etching protocols. *J Appl Oral Sci*. 2024 Mar 22;32:e20230359. doi: 10.1590/1678-7757-2023-0359. PMID: 38537030; PMCID: PMC11037927.

Gonçalves SEP, Araujo MAM, Damião ÁJ. Dentin Bond Strength: Influence of Laser Irradiation, acid etching, and hypermineralization. *J Clin Laser Med Surg*. 1999;17(2):77-85.

González CC, Ñaupari-Villasante R, Dos Santos de Castro A, Mendez-Bauer L, Dávila-Sanchez A, Aliaga-Sancho P, et al. Clinical evaluation of posterior restorations over wet and dry dentin using an etch-and-rinse adhesive: A 36-month randomized clinical trial. *Dent Mater*. 2024 Apr;40(4):619-628. doi: 10.1016/j.dental.2024.02.009. Epub 2024 Feb 18. PMID: 38369403.

Gu L sha, Huffman BP, Arola DD, Kim YK, Mai S, Elsalanty ME, et al. Changes in stiffness of resin-infiltrated demineralized dentin after remineralization by a bottom-up biomimetic approach. *Acta Biomater*. 2010;6(4):1453–61. doi: 10.1016/j.actbio.2009.10.052. PMID: 19887126.

Gu LS, Kim YK, Liu Y, Takahashi K, Arun S, Wimmer CE, et al. Immobilization of a phosphonated analog of matrix phosphoproteins within cross-linked collagen as a templating mechanism for biomimetic mineralization. *Acta Biomater*. 2011;7(1):268–77. doi: 10.1016/j.actbio.2010.07.036. PMID: 20688200.

Gungormus M, Tulumbaci F. Peptide-assisted pre-bonding remineralization of dentin to improve bonding. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021;113(September 2020):104119. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104119. PMID: 33035925.

Gupta S, Bogra P, Sharma D, Goyal R, Dhir S, Gupta B. Impact of radiotherapy and shielding on the efficacy of the self-etch adhesive technique. *J Conserv Dent*. 2022 Jul-Aug;25(4):444-447. doi: 10.4103/jcd.jcd_238_22. Epub 2022 Aug 2. PMID: 36187859; PMCID: PMC9520638.

Habraken WJEM, Tao J, Brylka LJ, Friedrich H, Bertinetti L, Schenk AS, et al. Ion-

association complexes unite classical and non-classical theories for the biomimetic nucleation of calcium phosphate. *Nat Commun.* 2013;4:1507–12. doi: 10.1038/ncomms2490. PMID: 23422675.

Hardan L, Bourgi R, Kharouf N, Mancino D, Zarow M, Jakubowicz N, et al. Bond Strength of Universal Adhesives to Dentin: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers (Basel)*. 2021 Mar 7;13(5):814. doi: 10.3390/polym13050814. PMID: 33799923; PMCID: PMC7961712.

Hass V, Cardenas A, Siqueira F, Pacheco RR, Zago P, Silva DO, Bandeca MC, Loguercio AD. Bonding Performance of Universal Adhesive Systems Applied in Etch-and-Rinse and Self-Etch Strategies on Natural Dentin Caries. *Oper Dent.* 2019 Sep/Oct;44(5):510-520. doi: 10.2341/17-252-L. PMID: 31461392.

Hass V, Matos TP, Parreiras SO, Szesz AL, de Souza JJ, Gutierrez MF, Reis A, Loguercio AD. An 18-month clinical evaluation of prolonged polymerization of a universal adhesive in noncarious cervical lesions: a double-blind randomized clinical trial. *Dent Mater.* 2022;38:68–78. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.10.01>

Hass V, Liu H, Cook W, Walker MP, Wang Y. Distinct effects of polyphenols and solvents on dentin collagen crosslinking interactions and biostability. *Dent Mater.* 2021 Dec;37(12):1794-1805. doi: 10.1016/j.dental.2021.09.009. Epub 2021 Sep 25. PMID: 34579958; PMCID: PMC8665057.

Hass V, Luque-Martinez IV, Gutierrez MF, Moreira CG, Gotti VB, Feitosa VP, et al. Collagen cross-linkers on dentin bonding: Stability of the adhesive interfaces, degree of conversion of the adhesive, cytotoxicity and in situ MMP inhibition. *Dent Mater.* 2016 Jun;32(6):732-41. doi: 10.1016/j.dental.2016.03.008. Epub 2016 Apr 14. PMID: 27087688.

He L, Hao Y, Zhen L, Liu H, Shao M, Xu X, et al. Biomineralization of dentin. *J Struct Biol.* 2019;207(2):115–22. doi: 10.1016/j.jsb.2019.05.010. PMID: 31153927.

Heintze SD. Clinical relevance of tests on bond strength, microleakage and marginal adaptation. *Dent Mater.* 2013 Jan;29(1):59-84. doi: 10.1016/j.dental.2012.07.158. Epub 2012 Aug 21. PMID: 22920539.

Heintze SD, Rousson V, Mahn E. Bond strength tests of dental adhesive systems and their correlation with clinical results - A meta-analysis. *Dent Mater.* 2015 Apr;31(4):423-34. doi: 10.1016/j.dental.2015.01.011. Epub 2015 Feb 21. PMID: 25711699.

Inglês M, Vasconcelos E Cruz J, Mano Azul A, Polido M, Delgado AHS. Comparative Assessment of Different Pre-Treatment Bonding Strategies to Improve the Adhesion of Self-Adhesive Composites to Dentin. *Polymers (Basel)*. 2022 Sep 21;14(19):3945. doi: 10.3390/polym14193945. PMID: 36235894; PMCID: PMC9570807.

ISO/TR 11405:1994 Guidance on testing of adhesion to tooth structure. Dent Mater. 1994.

Jacker-Guhr S, Sander J, Luehrs AK. How “Universal” is Adhesion? Shear bond strength of multi-mode adhesives to enamel and dentin. J Adhes Dent. 2019;21(1):87–95. doi: 10.3290/j.jad.a41974. PMID: 30799475.

Kim H, Choi A, Gong MK, Park HR, Kim Y II. Effect of remineralized collagen on dentin bond strength through calcium phosphate ion clusters or metastable calcium phosphate solution. Nanomaterials. 2020;10(11):1–11. doi: 10.3390/nano10112203.

Kumagai RY, Hirata R, Pereira PNR, Reis AF. Moist vs over-dried etched dentin: FE-SEM/TEM and bond strength evaluation of resin-dentin interfaces produced by universal adhesives. J Esthet Restor Dent. 2020 Apr;32(3):325-332. doi: 10.1111/jerd.12537. Epub 2019 Oct 17. PMID: 31622014.

Kuper NK, Hollanders ACC, Dekkers EAM, Maske TT, Huysmans MDNJM, Cenci MS. Aging Reduces the Anticaries Effect of Antibacterial Adhesive - An In Vitro Biofilm Study. J Adhes Dent. 2019;21(4):365-372. doi: 10.3290/j.jad.a42999. PMID: 31432051.

Liang K, Wang S, Tao S, Xiao S, Zhou H, Wang P, et al. Dental remineralization via poly(amido amine) and restorative materials containing calcium phosphate nanoparticles. Int J Oral Sci. 2019;11(2). doi: 10.1038/s41368-019-0048-z. PMID: 31068570.

Liang K, Weir MD, Xie X, Wang L, Reynolds MA, Li J, et al. Dentin remineralization in acid challenge environment via PAMAM and calcium phosphate composite. Dent Mater. 2016;32(11):1429–40. doi: 10.1016/j.dental.2016.09.013. PMID: 27665621.

Lima LC, Silva FRO, Viana ÍEL, Denucci GC, Mumaw CL, Walker C, et al. Novel resin-based material containing β -tricalcium phosphate nanoparticles for the reduction of dentin permeability. J Dent. 2024 Feb;141:104827. doi: 10.1016/j.jdent.2023.104827. Epub 2023 Dec 28. PMID: 38159901.

Lopes CCA, Rodrigues RB, Cenci MS, Uehara JLS, Maske TT, Limirio PHJO, et al. Effect of ionizing radiation and cariogenic biofilm challenge on root-dentin caries. Clin Oral Investig. 2021 Jun;25(6):4059-4068. doi: 10.1007/s00784-020-03736-0. Epub 2021 Mar 25. PMID: 33765193.

Lopes S, da Silva T, Maselli A. et al. Chemical and morphological analysis of dentin collagen degradation after Nd:YAG laser irradiation. Laser Dent Sci 6, 47–53 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41547-022-00149-y>

Loguercio AD, Salvalaggio D, Piva AE, Klein-Júnior CA, Accorinte Mde L, Meier MM, et al. Adhesive temperature: effects on adhesive properties and resin-dentin bond strength. Oper Dent. 2011 May-Jun;36(3):293-303. doi: 10.2341/10-218L.

PMID: 21851256.

Luo Y, Si R, He Y, Wang M, Yu Y, Huang X, et al. Effect of polyhydroxy-terminated PAMAM dendrimer on dentin matrix metalloproteinases within the hybrid layers. *BMC Oral Health*. 2023 Mar 11;23(1):141. doi: 10.1186/s12903-023-02841-2. PMID: 36906526; PMCID: PMC10007817.

Marimoto AK, Cunha LA, Yui KC, Huhtala MF, Barcellos DC, Prakki A, Gonçalves SE. Influence of Nd:YAG laser on the bond strength of self-etching and conventional adhesive systems to dental hard tissues. *Oper Dent*. 2013 Jul-Aug;38(4):447-55. doi: 10.2341/11-383-L. Epub 2012 Dec 5. PMID: 23215546.

Mazzoni A, Carrilho M, Papa V, Tjäderhane L, Gobbi P, Nucci C, et al.. MMP-2 assay within the hybrid layer created by a two-step etch-and-rinse adhesive: biochemical and immunohistochemical analysis. *J Dent*. 2011 Jul;39(7):470-7. doi: 10.1016/j.jdent.2011.04.004. Epub 2011 Apr 28. PMID: 21554921.

Mazzoni A, Maravić T, Tezvergil-Mutluay A, Tjäderhane L, Scaffa PMC, Seseogullari-Dirihan R, et al. Biochemical and immunohistochemical identification of MMP-7 in human dentin. *J Dent*. 2018 Dec;79:90-95. doi: 10.1016/j.jdent.2018.10.008. Epub 2018 Oct 24. PMID: 30367893.

Mousavinasab SM, Sarandi F, Rezvanian P, Atai M, Mousavinasab S. Effect of bioactive glass-containing dentin adhesives on microshear bond strength of composite restorations. *Dent Res J (Isfahan)*. 2023 Aug 28;20:95. PMID: 37810451; PMCID: PMC10557999.

Muñoz MA, Garín-Correa C, González-Arriagada W, Quintela Davila X, Häberle P, Bedran-Russo A, et al. The adverse effects of radiotherapy on the structure of dental hard tissues and longevity of dental restoration. *Int J Radiat Biol*. 2020 Jul;96(7):910-918. doi: 10.1080/09553002.2020.1741718. Epub 2020 Mar 26. PMID: 32159405.

Nakabayashi, N., Kojima, K., Matsuhara E. The promotion of adhesion by infiltration monomers into tooth substrates. *J Biomed Mat Res*. 1982;16(3):265–73. doi: 10.1002/jbm.820160307.

Nakabayashi N, Takarada K. Effect of HEMA on bonding to dentin. *Dent Mater*. 1992;8(2):125–30. doi: 10.1016/0109-5641(92)90067-M. PMID: 1521692.

Nakabayashi N. Adhesive bonding with 4-META. *Oper Dent*. 1992;5:125–30.

Nakabayashi N, Ashizawa M, Nakamura M. Identification of a resin-dentin hybrid layer in vital human dentin created in vivo: durable bonding to vital dentin. *Quintessence Int (Berl)*. 1992;23(2):135–41. PMID: 1322546.

Nakabayashi N, Nakamura M, Yasuda N. Hybrid Layer as a Dentin-Bonding Mechanism. *J Esthet Dent*. 1991;3(4):133–8. doi: 10.1111/j.1708-8240.1991.tb00985.x.

Nakajima M, Sano H, Burrow MF, Tagami J, Yoshiyama M, Ebisu S, et al. Tensile bond strength and SEM evaluation of caries-affected dentin using dentin adhesives. *J Dent Res*. 1995 Oct;74(10):1679-88. doi: 0.1177/00220345950740100901. Pubmed PMID: 7499591.

Ñaupari-Villasante R, Falconi-Páez C, Castro AS, Gutiérrez MF, Mendez-Bauer ML, Aliaga P, et al. Clinical performance of posterior restorations using a universal adhesive over moist and dry dentin: A 36-month double-blind split-mouth randomized clinical trial. *J Dent*. 2024 Aug;147:105080. doi: 10.1016/j.jdent.2024.105080. Epub 2024 May 22. PMID: 38788919.

Ñaupari-Villasante R, Matos TP, de Albuquerque EG, Warol F, Tardem C, Calazans FS, et al. Five-year clinical evaluation of universal adhesive applied following different bonding techniques: A randomized multicenter clinical trial. *Dent Mater*. 2023 Jun;39(6):586-594. doi: 10.1016/j.dental.2023.04.007. Epub 2023 May 4. PMID: 37147235.

Neves AA, Coutinho E, Cardoso MV, de Munck J, Van Meerbeek B. Micro-tensile bond strength and interfacial characterization of an adhesive bonded to dentin prepared by contemporary caries-excitation techniques. *Dent Mater*. 2011 Jun;27(6):552-62. doi: 10.1016/j.dental.2011.02.008. Epub 2011 Apr 13. PMID: 21489617.

Niu LN, Jee SE, Jiao K, Tonggu L, Li M, Wang L, et al. Collagen intrafibrillar mineralization as a result of the balance between osmotic equilibrium and electroneutrality. *Nat Mater*. 2017;16(3):370–8. doi: 10.1038/nmat4789. PMID: 27820813.

Niu LN, Zhang W, Pashley DH, Breschi L, Mao J, Chen JH, et al. Biomimetic remineralization of dentin. *Dent Mater*. 2014;30(1):77–96. doi: 10.1016/j.dental.2013.07.013. PMID: 23927881.

Oglakci B, Burduloğlu D, Eriş AH, Mayadağlı A, Arhun N. The Effect of Radiotherapy on the Marginal Adaptation of Class II Direct Resin Composite Restorations: A Micro-computed Tomography Analysis. *Oper Dent*. 2022 Jan 1;47(1):43-54. doi: 10.2341/20-066-L. PMID: 35226728.

Oyane A, Yokoyama Y, Uchida M, Ito A. The formation of an antibacterial agent-apatite composite coating on a polymer surface using a metastable calcium phosphate solution. *Biomaterials*. 2006;27(17):3295–303. doi: 10.1016/j.biomaterials.2006.01.029. PMID: 16487584.

Perdigão J, Araujo E, Ramos RQ, Gomes G, Pizzolotto L. Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. *J Esthet Restor Dent*. 2021 Jan;33(1):51-68. doi: 10.1111/jerd.12692. Epub 2020 Dec 2. PMID: 33264490.

Peumans M, Van de Maele E, de Munck J, van Landuyt K, Van Meerbeek B. Fourteen-year Clinical Performance of a HEMA-free One-step Self-etch Adhesive

in Non-carious Cervical Lesions. *J Adhes Dent*. 2023 Jul 12;25:147-158. doi: 10.3290/j.jad.b4208859. PMID: 37435814.

Peumans M, Vandormael S, De Coster I, De Munck J, Van Meerbeek B. Three-year Clinical Performance of a Universal Adhesive in Non-Carious Cervical Lesions. *J Adhes Dent*. 2023 Jun 30;25:133-146. doi: 10.3290/j.jad.b4186751. PMID: 37387551.

Prati C, Chersoni S, Mongiorgi R, Pashley DH. Resin-infiltrated dentin layer formation of new bonding systems. *Oper Dent*. 1998 Jul-Aug;23(4):185-94. Pubmed PMID: 9760921

Ramos TM, Ramos-Oliveira TM, de Freitas PM, Azambuja N Jr, Esteves-Oliveira M, Gutknecht N, et al. Effects of Er:YAG and Er,Cr:YSGG laser irradiation on the adhesion to eroded dentin. *Lasers Med Sci*. 2015 Jan;30(1):17-26. doi: 10.1007/s10103-013-1321-6. Epub 2013 May 7. PMID: 23649611.

Rao AC, Kondas VV, Nandini V, Kirana R, Yadalam PK, 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*. 2023 Oct 28;23(1):810. doi: 10.1186/s12903-023-03536-4. PMID: 37898802; PMCID: PMC10612299.

Ribas RG, Montanheiro TLA, Montagna LS, Prado RFd, Lemes AP, Bastos Campos TM, Thim GP. Water Uptake in PHBV/Wollastonite Scaffolds: A Kinetics Study. *Journal of Composites Science*. 2019; 3(3):74. <https://doi.org/10.3390/jcs3030074>

Ribas RG, Campos TMB, Schatkoski VM, de Menezes VM, Montanheiro TLA, Thim GP. α -wollastonite crystallization at low temperature. *Ceram. Int*. 2020;46(5):6575-6580. doi: 10.1016/j.ceramint.2019.11.143

Ribeiro CF, Gonçalves SE, Yui KC, Borges AB, Barcellos DC, Brayner R. Dentin bond strength: influence of Er:YAG and Nd:YAG lasers. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2013 May-Jun;33(3):373-7. doi: 10.11607/prd.1096. PMID: 23593631.

Rodrigues RB, Soares CJ, Junior PCS, Lara VC, Arana-Chavez VE, Novais VR. Influence of radiotherapy on the dentin properties and bond strength. *Clin Oral Investig*. 2018 Mar;22(2):875-883. doi: 10.1007/s00784-017-2165-4. Epub 2017 Aug 4. PMID: 28776096.

Romano LK, Soares EJ, Alves Amorim A, Geng Vivanco R, Pires-de-Souza FCP. Effect of natural agents on the bond strength to eroded dentin. *J Esthet Restor Dent*. 2024 May;36(5):770-777. doi: 10.1111/jerd.13172. Epub 2023 Nov 28. PMID: 38014602.

Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, et al. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength - Evaluation of a

micro-tensile bond test. *Dent Mater.* 1994;10:236–40.

Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner J, Matthews W, Pashley DH. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent.* 1995;20:18–25.

Sano H, Yoshiyama M, Ebisu S, Burrow M, Takatsu T, Ciucchi B, et al. Comparative SEM and TEM observations of nanoleakage within the hybrid layer. *Oper Dent.* ;20:160–7.

Sanon K, Sanchavanakit N, Srisawasdi S. Grape Seed extract reduces active gelatinases using an Etch-and-Rinse mode universal adhesive. *J Adhes Dent.* 2019;21(2):159–65. doi: 10.3290/j.jad.a42306. PMID: 30949629.

Sarikaya R, Song L, Yuca E, Xie SX, Boone K, Misra A, et al. Bioinspired multifunctional adhesive system for next generation bio-additively designed dental restorations. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021;113(February 2020):104135. doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.104135. PMID: 33160267.

Sato T, Takagaki T, Baba Y, Vicheva M, Matsui N, Hiraishi N, et al. Effects of Different Tooth Conditioners on the Bonding of Universal Self-etching Adhesive to Dentin. *J Adhes Dent.* 2019;21(1):77–85. doi: 10.3290/j.jad.a41917. PMID: 30799474.

Schroeder M, Correa IC, Bauer J, Loguercio AD, Reis A. Influence of adhesive strategy on clinical parameters in cervical restorations: A systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2017 Jul;62:36-53. doi: 10.1016/j.jdent.2017.05.006. Epub 2017 May 8. PMID: 28495559.

Sengün A, Ünlü N, Özer F, Öztürk B. Bond strength of five current adhesives to caries-affected dentin. *J Oral Rehabil.* 2002;29(8):777–81. doi: 10.1046/j.1365-2842.2002.00871.x. PMID: 12220346.

Shao C, Jin B, Mu Z, Lu H, Zhao Y, Wu Z, et al. Repair of tooth enamel by a biomimetic mineralization frontier ensuring epitaxial growth. *Sci Adv.* 2019;5(8):1–10. doi: 10.1126/sciadv.aaw9569. PMID: 31497647.

Shimatani Y, Tsujimoto A, Nojiri K, Shiratsuchi K, Takamizawa T, Barkmeier WW, et al. Reconsideration of enamel etching protocols for universal adhesives: Effect of etching method and etching time. *J Adhes Dent.* 2019;21(4):345–54. doi: 10.3290/j.jad.a42933. PMID: 31432049.

Silva FCFA, Feitosa VP, Saboia VPA. Ethanol as Dentin Pretreatment on the Bonding Performance of a Two-Step Etch-and-Rinse Adhesive: An In Vivo Study. *Eur J Dent.* 2019 May;13(2):137-142. doi: 10.1055/s-0039-1696584. Epub 2019 Sep 3. PMID: 31480091; PMCID: PMC6777173.

Silva JC, Cetira Filho EL, Silva PGB, Costa FWG, Saboia VPA. Is dentin biomodification with collagen cross-linking agents effective for improving dentin adhesion? A systematic review and meta-analysis. *Restor Dent Endod.* 2022 May

6;47(2):e23. doi: 10.5395/rde.2022.47.e23. PMID: 35692222; PMCID: PMC9160760.

Silva MR. Avaliação do efeito de biopartícula nas propriedades mecânicas, químicas e estruturais longitudinais da interface adesiva em dentina: estudo “in vitro”. 2022. 80 f. Tese (Doutorado em Odontologia Restauradora) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José dos Campos, 2022.

Silva TM, Gonçalves LL, Pontes SO, Reis AFN, Mendonça RP, Silva MR, Gonçalves SEP. Adhesive system Properties and its behavior under simulated pulpal pressure in sound and caries-affected dentin and aging. *Int J Adhes Adhes*. 2022;116. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2022.103139.

Singh V, Misra A, Marangos O, Park J, Ye Q, Kieweg SL, et al. Viscoelastic and fatigue properties of model methacrylate-based dentin adhesives. *J Biomed Mater Res - Part B Appl Biomater*. 2010;95 B(2):283–90. doi: 10.1002/jbm.b.31712. PMID: 20848661.

Siqueira FSF de, Hilgemberg B, Araujo LCR, Hass V, Bandeca MC, Reis A, et al. Effect of Phosphoric Acid Containing MMP-Inactivator on the Properties of Resin Bonding to Eroded Dentin. *J Adhes Dent*. 2019;21(2):149–58. doi: 10.3290/jad.a42324. PMID: 30949628.

Siqueira FSF, Wendlinger M, Araújo LCR, Moreira PHA, Cardenas AFM, Carvalho TS, et al. Bonding performance of universal adhesives to eroded dentine: A 6-year evaluation. *J Dent*. 2023 Sep;136:104633. doi: 10.1016/j.jdent.2023.104633. Epub 2023 Jul 23. PMID: 37490967.

Spencer P, Park QYJ, Misra A, Bohaty BS, Singh V, Parthasarathy R, et al. Durable bonds at the adhesive/dentin interface: an impossible mission or simply a moving target? *Brazilian Dent Sci*. 2012;15(1):4–18. PMID: 1000000221.

Spencer P, Ye Q, Song L, Parthasarathy R, Boone K, Misra A, Tamerler C. Threats to adhesive/dentin interfacial integrity and next generation bio-enabled multifunctional adhesives. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2019 Nov;107(8):2673-2683. doi: 10.1002/jbm.b.34358. Epub 2019 Mar 20. PMID: 30895695; PMCID: PMC6754319.

Spirandeli BR, Ribas RG, Amaral SS, Martins EF, Esposito E, Vasconcellos LMR, et al. Incorporation of 45S5 bioglass via sol-gel in β -TCP scaffolds: Bioactivity and antimicrobial activity evaluation. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2021 Dec;131:112453. doi: 10.1016/j.msec.2021.112453. Epub 2021 Sep 25. PMID: 34857256.

Stape TH, Tjäderhane L, Marques MR, Aguiar FH, Martins LR. Effect of dimethyl sulfoxide wet-bonding technique on hybrid layer quality and dentin bond strength. *Dent Mater*. 2015 Jun;31(6):676-83. doi: 10.1016/j.dental.2015.03.008. Epub 2015 Apr 18. PMID: 25900625.

Sun G, Chen X, Wei F, Bai T, Zhu S. Effects of Er: YAG, Er,Cr: YSGG, and Nd: YAG laser irradiation and adhesive systems on the immediate and long-term bond strength of dentin: a systematic review and meta-analysis. *Lasers Med Sci.* 2023 Jan 3;38(1):32. doi: 10.1007/s10103-022-03699-6. PMID: 36595096.

Takamizawa T, Imai A, Hirokane E, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Erickson RL, et al. SEM observation of novel characteristic of the dentin bond interfaces of universal adhesives. *Dent Mater.* 2019 Dec;35(12):1791-1804. doi: 10.1016/j.dental.2019.10.006. Epub 2019 Nov 12. PMID: 31727447.

Tang C, Mercelis B, Yoshihara K, Peumans M, Van Meerbeek B. Does the universal adhesive's film thickness affect dentin-bonding effectiveness? *Clin Oral Investig.* 2024 Feb 15;28(2):150. doi: 10.1007/s00784-024-05523-7. PMID: 38358575.

Tao S, He L, Xu HHK, Weir MD, Fan M, Yu Z, et al. Dentin remineralization via adhesive containing amorphous calcium phosphate nanoparticles in a biofilm-challenged environment. *J Dent.* 2019;89(June):103193. doi: 10.1016/j.jdent.2019.103193. PMID: 31476321.

Tao S, Su Z, Xiang Z, Xu HHK, Weir MD, Fan M, et al. Nano-calcium phosphate and dimethylaminohexadecyl methacrylate adhesive for dentin remineralization in a biofilm-challenged environment. *Dent Mater.* 2020;36(10):e316–28. doi: 10.1016/j.dental.2020.08.001. PMID: 32847685.

Tay FR, Pashley DH. Guided tissue remineralisation of partially demineralised human dentine. *Biomaterials.* 2008;29(8):1127–37. doi: 10.1016/j.biomaterials.2007.11.001. PMID: 18022228.

Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent.* 2002 Sep-Nov;30(7-8):371-82. doi: 10.1016/s0300-5712(02)00064-7. PMID: 12554121.

Thimmaiah C, Shetty P, Shetty SB, Natarajan S, Thomas NA. Comparative analysis of the remineralization potential of cpp-acp with fluoride, tri-calcium phosphate and nano hydroxyapatite using SEM/EDx-an in vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2019;11(12):e1120-1126. doi: 10.4317/jced.55941.

Tonami K, Takahashi H, Nishimura F. Effect of frozen storage and boiling on tensile strength of bovine dentin. *Dent Mater J.* 1996 Dec;15(2):205-11. doi: 10.4012/dmj.15.205. PMID: 9550019.

Ugurlu M. Effect of the double application of universal adhesives on the dentine bond strength after radiotherapy. *Aust Dent J.* 2020 Sep;65(3):181-188. doi: 10.1111/adj.12744. Epub 2020 Jan 22. PMID: 31900933.

Uy E, Ekambaram M, Lee GHM, Yiu CKY. Remineralization Potential of Calcium and Phosphate-based Agents and Their Effects on Bonding of Orthodontic

Brackets. *J Adhes Dent*. 2019;21(3):219-228. doi: 10.3290/j.jad.a42305. PMID: 31165104.

Van Landuyt KL, De Munck J, Snauwaert J, Coutinho E, Poitevin A, Yoshida Y, et al. Monomer-solvent phase separation in one-step self-etch adhesives. *J Dent Res*. 2005;84(2):183–8. doi: 10.1177/154405910508400214. PMID: 15668338.

Van Landuyt KL, Snauwaert J, Peumans M, De Munck J, Lambrechts P, Van Meerbeek B. The role of HEMA in one-step self-etch adhesives. *Dent Mater*. 2008;24(10):1412–9. doi: 10.1016/j.dental.2008.02.018. PMID: 18433860.

van Meerbeek B, Dhém A, Goret-Nicaise M, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Comparative SEM and TEM Examination of the Ultrastructure of the Resin-Dentin Interdiffusion Zone. *Journal of Dental Research*. 1993;72(2):495-501. doi:10.1177/00220345930720020501

van Meerbeek B, Yoshihara K, van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M. From buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. A status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. *J Adhes Dent*. 2020;22(1):7–34. doi: 10.3290/j.jad.a43994. PMID: 32030373.

Wang J, Chen Y, Li L, Sun J, Gu X, Xu X, et al. Remineralization of dentin collagen by meta-stabilized amorphous calcium phosphate. *CrystEngComm*. 2013;15(31):6151. doi: 10.1039/c3ce40449h.

Wang L, Chen F, Yang F, Hoshika S, Yamauti M, Liu Y, et al. Bioactive Two-step Approach: Promising Bonding Strategy for a One-step Self-etch Universal Adhesive. *J Adhes Dent*. 2019;21(5):413–21. doi: 10.3290/j.jad.a43236. PMID: 31624806.

Wang R, Stanley T, Yao X, Liu H, Wang Y. Collagen stabilization by natural cross-linkers: A qualitative and quantitative FTIR study on ultra-thin dentin collagen model. *Dent Mater J*. 2022 May 31;41(3):440-450. doi: 10.4012/dmj.2021-247. Epub 2022 Mar 4. PMID: 35249902.

Watanabe I, Nakabayashi N, Pashley DH. Bonding to ground dentin by a phenyl-P self-etching primer. *J Dent Res* 1994;73:1212-1220.

Wendlinger M, Cardenas AFM, Figueredo de Siqueira FS, Moreira PHA, Trovão MMA, Stape THS, et al. Does the application of dimethyl sulfoxide improve resin bonding to eroded dentine? Four-year in vitro evaluation. *Dent Mater*. 2023 Nov;39(11):1051-1057. doi: 10.1016/j.dental.2023.09.014. Epub 2023 Oct 2. PMID: 37793951.

Wendlinger M, Nuñez A, Moreira P, Carneiro TS, Cochinski GD, Siqueira F, et al. Effect of the Absence of HEMA on the Bonding Properties of Universal Adhesive Systems Containing 10-MDP: An In Vitro Study. *Oper Dent*. 2023 Sep 1;48(5):500-512. doi: 10.2341/22-050-L. PMID: 37503689.

Wendlinger M, Pomacóndor-Hernández C, Pintado-Palomino K, Cochinski GD, Loguercio AD. Are universal adhesives in etch-and-rinse mode better than old 2-step etch-and-rinse adhesives? One-year evaluation of bonding properties to dentin. *J Dent*. 2023 May;132:104481. doi: 10.1016/j.jdent.2023.104481. Epub 2023 Mar 12. PMID: 36918052.

Wiegand A, Lechte C, Kanzow P. Adhesion to eroded enamel and dentin: systematic review and meta-analysis. *Dent Mater*. 2021 Dec;37(12):1845-1853. doi: 10.1016/j.dental.2021.09.014. Epub 2021 Sep 27. PMID: 34593245.

Wu L, Cao X, Meng Y, Huang T, Zhu C, Pei D, et al. Novel bioactive adhesive containing dimethylaminohexadecyl methacrylate and calcium phosphate nanoparticles to inhibit metalloproteinases and nanoleakage with three months of aging in artificial saliva. *Dent Mater*. 2022 Jul;38(7):1206-1217. doi: 10.1016/j.dental.2022.06.017. Epub 2022 Jun 16. PMID: 35718597.

Xu VW, Nizami MZI, Yin IX, Lung CYK, Yu OY, Chu CH. Caries Management with Non-Metallic Nanomaterials: A Systematic Review. *Int J Nanomedicine*. 2022 Nov 30;17:5809-5824. doi: 10.2147/IJN.S389038. PMID: 36474525; PMCID: PMC9719741.

Xuan W, Hou BX, Lü YL. Bond strength of different adhesives to normal and caries-affected dentins. *Chin Med J (Engl)*. 2010 Feb 5;123(3):332-6. PMID: 20193255.

Yamauchi K, Tsujimoto A, Jurado CA, Shimatani Y, Nagura Y, Takamizawa T, et al. Etch-and-rinse vs self-etch mode for dentin bonding effectiveness of universal adhesives. *J Oral Sci*. 2019 Nov 27;61(4):549-553. doi: 10.2334/josnurd.18-0433. Epub 2019 Oct 21. PMID: 31631096.

Yang Q, Zheng W, Zhao Y, Shi Y, Wang Y, Sun H, et al. Advancing dentin remineralization: Exploring amorphous calcium phosphate and its stabilizers in biomimetic approaches. *Dent Mater*. 2024 Aug;40(8):1282-1295. doi: 10.1016/j.dental.2024.06.013. Epub 2024 Jun 13. PMID: 38871525.

Yoshihara K, Nagaoka N, Nakamura A, Hara T, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Nano-Layering Adds Strength to the Adhesive Interface. *J Dent Res*. 2021 May;100(5):515-521. doi: 10.1177/0022034520979133. Epub 2020 Dec 21. PMID: 33345712.

Zanatta RF, Silva TM, Esper M, Bresciani E, Gonçalves S, Caneppele T. Bonding Performance of Simplified Adhesive Systems in Noncarious Cervical Lesions at 2-year Follow-up: A Double-blind Randomized Clinical Trial. *Oper Dent*. 2019 Sep/Oct;44(5):476-487. doi: 10.2341/18-049-C. Epub 2019 Jan 31. PMID: 30702405.

Zhou YZ, Cao Y, Liu W, Chu CH, Li QL. Polydopamine-induced tooth remineralization. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2012;4(12):6901-10. doi: 10.1021/am302041b. PMID: 23176019.

Zhou Z, Ge X, Bian M, Xu T, Li N, Lu J, et al. Remineralization of dentin slices using casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate combined with sodium tripolyphosphate. *Biomed Eng Online*. 2020;19(1):1–13. doi: 10.1186/s12938-020-0756-9. PMID: 32245476.