



**UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA**

ADESIVOS UNIVERSAIS : FACTORES QUE INTERFEREM NA ADESÃO À DENTINA – REVISÃO INTEGRATIVA

[Universal adhesives : factors affecting dentin bonding – integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Lucie Costagliola d'abele

Orientador(es):

Prof. Doutora. Liliana Alexandra Pascoal Teixeira

Julho 2024

ADESIVOS UNIVERSAIS : FACTORES QUE INTERFEREM NA ADESÃO À DENTINA – REVISÃO INTEGRATIVA

[Universal adhesives : factors affecting dentin bonding – integrative review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Medicina dentária

Lucie Costagliola d'abele

Orientador(es):

Prof. Doutora. Liliana Alexandra Pascoal Teixeira

Julho 2024

DEDICATÓRIA

A toi, papi,

Toi qui ma vu grandir, ta sagesse, tes conseils et ton amour ont été des sources inépuisables d'inspiration et de force tout au long de mon enfance. Bien que tu ne sois plus parmi nous, ton influence continue de guider mes pas et d'éclairer mon chemin.

Je te dédie cette thèse avec une profonde gratitude et une affection éternelle.

Avec tout mon amour,

Lucie

*« Il faut toujours viser la lune, car même en cas d'échec,
on atterrit dans les étoiles »*
Oscar Wilde

AGRADECIMENTO

Gostaria de expressar a minha gratidão a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização desta tese.

À minha faculdade e aos meus professores, pelo ensino de qualidade que recebi. O vosso conhecimento, dedicação e paixão pelo ensino influenciaram profundamente o meu percurso académico.

E, em particular, à minha orientadora de tese, Prof. Doutora. Liliana Alexandra Pascoal Teixeira, pela sua orientação excecional, expertise e paciência. O seu apoio e os seus conselhos foram inestimáveis e permitiram-me concluir este trabalho.

À minha família, que me apoiou e suportou ao longo deste percurso. O vosso amor e encorajamento foram essenciais para mim.

À minha mãe, Séverine, pelo teu amor incondicional, encorajamento constante e apoio inabalável. Sempre acreditaste em mim, mesmo nos momentos mais difíceis, e por isso, sou eternamente grata.

Ao meu irmão, Arthur, pelo teu humor que trouxe leveza nos momentos de stress.

À minha avó, Andrée, e à minha bisavó, Zize, pelos vossos sábios conselhos e amor infinito. Vocês são pilares na minha vida.

Ao meu namorado, pelo teu apoio infalível e ajuda preciosa ao longo dos meus estudos.

A tua paciência, encorajamento e amor foram uma fonte imensa de força.

Agradeço a cada um de vocês por terem tornado esta jornada possível.

Com toda a minha gratidão, muito obrigada !

RESUMO

Há uma ampla gama de adesivos universais disponíveis, cada um com composições, características e métodos de aplicação distintos. Essa diversidade pode tornar desafiador adaptar clinicamente o uso desses adesivos a várias situações clínicas. Simplificar a técnica nem sempre resulta em melhorias nas propriedades adesivas a longo prazo.

O objectivo deste trabalho foi realizar uma revisão integrativa da literatura para avaliação dos factores que interferem na força de adesão à dentina, quando são usados sistemas adesivos universais. Também se pretende reunir estratégias para otimizar a adesão à dentina com os adesivos universais.

É intuito responder às seguintes questões:

Questão 1 - Que factores morfológicos, mecânicos e químicos podem interferir na força de adesão a curto e longo prazo dos adesivos universais à dentina?

Questão 2 - Há algum composto/molécula ou alguma modificação na técnica capaz de Os critérios de elegibilidade para a elaboração da revisão integrativa, seguiram a estratégia PICO: Participantes - Dentes permanentes com avaliação do substracto dentinário; Intervenção: Aplicação de adesivos universais com diferentes composições e técnicas; Controlo - Comparação entre diferentes adesivos universais (composições e técnica de aplicação); Outcome -Força de adesão (cisalhamento, tração)

Foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão: Estudos *in vitro*, revisões narrativas, sistemáticas e meta-análises, publicadas em inglês nos últimos 15 anos e de acesso gratuito. Tem de ser descrito o método de avaliação da força de adesão, a técnica/estratégia de adesão, e a composição do sistema adesivo universal.

A pesquisa foi realizada em várias bases de dados: PubMed/MEDLINE, ScienceDirect, Embase e Web of Science com as palavras-chave e os operadores booleanos.

A compreensão do impacto da *smear layer*, do pH do adesivo, da preparação da superfície dentinária, das propriedades dos monómeros, das técnicas específicas de aplicação e da escolha do material adesivo é essencial para melhorar a eficácia dos adesivos universais. Não existe ainda evidência científica suficiente, dada a falta de ensaios clínicos, sobre o protocolo ideal de adesão dos adesivos universais à dentina. Há algumas estratégias que de acordo com os estudos *in vitro* parecem potenciar a adesão, nomeadamente: o uso de brocas laminadas para terminar as preparações dentárias, a escolha de adesivos universais com pH suave (>2,5), contendo 10-MDP, aplicados com estratégia *Etch-and rinse ou Self-etch*, mas com ataque ácido à dentina de apenas 3 segundos. A aplicação deve ser efectuada com vigor e demorar aproximadamente 20 segundos, assim como a secagem para evaporação do solvente. Pesquisas futuras devem focar-se na otimização das formulações dos adesivos universais, na melhoria das técnicas de preparação da dentina e na avaliação a longo prazo da durabilidade das ligações adesivas em diversas condições clínicas.

Palavras chaves : "*adhesion; dental adhesive; dental bonding; dentin bonding agent; universal adhesive; bond strength*"

ABSTRACT

There is a wide range of universal adhesives available, each with distinct compositions, characteristics, and application methods. This diversity can make it challenging to clinically adapt the use of these adhesives to various clinical situations. Simplifying the technique does not always result in improvements in long-term adhesive properties. The objective of this work was to conduct an integrative literature review to evaluate the factors that interfere with the adhesion strength to dentin when using universal adhesive systems. Additionally, it aims to gather strategies to optimize dentin adhesion with universal adhesives.

The intent is to answer the following questions:

Question 1 - What morphological, mechanical, and chemical factors can interfere with the short-term and long-term adhesion strength of universal adhesives to dentin?

Question 2 - Is there any compound/molecule or any modification in the technique capable of enhancing adhesion strength?

The eligibility criteria for conducting the integrative review followed the PICO strategy:

Participants: Permanent teeth with dentin substrate evaluation ; Intervention : Application of universal adhesives with different compositions and techniques ; Control: Comparison between different universal adhesives (compositions and application techniques) ;

Outcome : Adhesion strength (shear, tensile)

The following inclusion criteria were established:

In vitro studies, narrative reviews, systematic reviews, and meta-analyses published in English in the last 15 years and with free access. The method of evaluating adhesion strength, the adhesion technique/strategy, and the composition of the universal adhesive system must be described. The research was conducted in several databases: PubMed/MEDLINE, ScienceDirect, Embase, and Web of Science using keywords and Boolean operators. Understanding the impact of the smear layer, the pH of the adhesive, dentin surface preparation, monomer properties, specific application techniques, and the choice of adhesive material is essential to improve the effectiveness of universal adhesives. There is still not enough scientific evidence, due to the lack of clinical trials, regarding the ideal adhesion protocol of universal adhesives to dentin. There are some strategies that, according to in vitro studies, seem to enhance adhesion, namely: the use of carbide burs to finish dental preparations, the choice of universal adhesives with a mild pH (2.5), containing 10-MDP, applied with an etch-and-rinse or self-etch strategy, but with acid etching of the dentin for only 3 seconds. The application should be done vigorously and take approximately 20 seconds, as well as the drying for solvent evaporation. Future research should focus on optimizing universal adhesive formulations, improving dentin preparation techniques, and long-term evaluation of adhesive bond durability under various clinical conditions.

Key words: *"adhesion; dental adhesive; dental bonding; dentin bonding agent; universal adhesive; bond strength"*

INDICE GERAL

RESUMO.....	V
ABSTRACT.....	VII
INDICE GERAL.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRONIMOS.....	XV
1.INTRODUÇÃO.....	1
2.DESENVOLVIMENTO.....	9
2.1 MATERIAIS E MÉTODOS	
2.2 RESULTADOS.....	13
2.2.1 Takamizawa, T. <i>et al.</i> (2015).....	21
2.2.2 Muñoz, M. A. <i>et al.</i> (2013).....	21
2.2.3 Huseyin, H. <i>et al.</i> (2022).....	22
2.2.4 Zhang, Z. <i>et al.</i> (2016).....	23
2.2.5 Yamauchi, K. <i>et al.</i> (2019).....	23
2.2.6 Chen, C. <i>et al.</i> (2015).....	24
2.2.7 Kharouf, N. <i>et al.</i> (2019).....	24
2.2.8 Yoshihara, K. <i>et al.</i> (2011).....	25
2.2.9 Tsujimoto, A. <i>et al.</i> (2017).....	26
2.2.10 Elkaffas, A. <i>et al.</i> (2018).....	26
2.2.11 Triano, F. <i>et al.</i> (2022).....	27
2.2.12 Cuevas-Suárez, C. A. <i>et al.</i> (2019).....	27
2.2.13 Carrilho, E. <i>et al.</i> (2019).....	28
2.2.14 Hardan, L. <i>et al.</i> (2021).....	28
2.3.DISSCUSSÃO.....	31
3. CONCLUSÃO.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	41
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de fluxo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).....	11
---	----

INDICE DE TABELAS

Tabela 1. Descrição da estratégia de pesquisa do método PICO associada com os critérios de inclusão e exclusão.....	10
Tabela 2. Características relevantes dos estudos incluídos in vitro.....	14
Tabela 3. Características relevantes dos estudos meta análise incluídos.....	18

INDICE DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AU – Adesivos universais

ER – Etch-and-Rinse

SE – Self-Etch

10-MDP – 10-metacriloxietil dihidrogenofosfato

Bis-GMA – Bisfenol-A-diglicidil metacrilato

HAp – Hidroxiapatite

HEMA – 2-hidroxietil Metacrilato

BPDM – Bifenil dimetacrilato ou ácido 4,40-dimetacriloiloxyetiloxycarbonilbifenil-3,30-dicarboxil

MCAP – Ester metacrilato de ácido fosfórico

4-MET – 4-methaeryloyloxyethyl trimellitic acid

MOEP – Methacryloyloxyethyl phosphate

MTU-6 – 6-méthacryloyloxyhexyl 2-thiouracil-5-carboxylate4-methaeryloyloxyethyl trimellitic acid

GPDM – Glycero-phosphate dimethacrylate

PENTA – Dipentaerythritol pentaacrylate monophosphate

PAC – Methacrylate-modified polyalkenoic acid

™ – Trademark

1. INTRODUÇÃO

Estabelecer uma adesão duradoura à dentina com soluções de resina monomérica tem sido uma tarefa árdua desde os anos 50. Os adesivos dentários evoluíram bastante em termos de química e componentes para criar uma ligação duradoura à estrutura dentária. Ao contrário da dentina, a adesão ao esmalte permaneceu simples desde a técnica de condicionamento com ácido introduzida em 1955 por Michael Buonocore, revolucionando a dentisteria restauradora. A introdução da molécula de metacrilato de bisfenol A-glicidilo (Bis-GMA) pela equipa do Dr. Bowen na década de 1960 levou à primeira resina composta comercial. Desde então, muitos novos adesivos dentários e resinas compostas foram desenvolvidos, culminando nos adesivos universais e nas resinas compostas universais mais modernas, visando simplificar os procedimentos clínicos de restauração adesiva. (Perdigão et al., 2020).

A introdução dos compósitos exigiu o desenvolvimento simultâneo de adesivos amelo-dentinários confiáveis, marcando assim o início de uma evolução contínua na natureza e composição desses produtos. Com o tempo, os adesivos evoluíram para estabelecer uma ligação duradoura com a dentina, o que significativamente melhorou os resultados das restaurações dentárias. Essa evolução é impulsionada pela busca constante por soluções que simplifiquem os procedimentos clínicos, garantindo resultados confiáveis e duradouros. (Van Meerbeek B et al, 2020)

Os sistemas adesivos modernos visam promover uma adesão forte, imediata e duradoura entre o substrato dentário e o material de restauração aplicado. Esses produtos devem resistir à degradação microbiana ou enzimática, prevenir a sensibilidade pós-operatória, reduzir o risco de cáries recidivantes e evitar pigmentação marginal. Além disso, eles devem ser fáceis de usar e rápidos de manipular, o que contribui para uma prática clínica eficaz e eficiente (Burke et al., 2017).

O estabelecimento de uma adesão eficaz entre a dentina e a restauração requer uma compreensão profunda das propriedades físicas e químicas dos diferentes substratos. Por exemplo, as resinas compostas são constituídas por uma matriz hidrofóbica na qual

diferentes partículas de carga são integradas. Por outro lado, os dentes apresentam substratos muito diferentes no nível coronário, com uma composição distinta no esmalte e na dentina. (Migliau G., 2017).

O esmalte é composto principalmente de hidroxiapatita, fosfato de cálcio cristalino e uma pequena quantidade de matéria orgânica e água, enquanto a dentina é composta principalmente de hidroxiapatita, colágeno e água. Essas diferenças de composição entre o esmalte e a dentina requerem adesivos com propriedades tanto hidrofóbicas quanto hidrofílicas para garantir uma ligação eficaz com os substratos dentários e as restaurações. (Perdigão and Swift, 2015), (Migliau G., 2017).

Os adesivos dentários desempenham um papel crucial no sucesso das restaurações dentárias ao promover a ligação entre as superfícies dentárias e os materiais de restauração, garantindo assim a estabilidade e a durabilidade das restaurações realizadas. Esses adesivos são encontrados em diversas formas, classificados em três categorias de acordo com as estratégias de aplicação utilizadas nos substratos dentários: adesivos *etch-and-rinse*, adesivos *self-etch* e adesivos universais. Além disso, podem ser classificados de acordo com sua geração ou as etapas envolvidas em sua aplicação. Os adesivos *etch-and-rinse* requerem o uso prévio de ácido ortofosfórico 37% para remover a camada de *smear layer*, desmineralizando assim o esmalte e a camada superficial da dentina (15 segundos para o esmalte e 30 segundos para a dentina). Por outro lado, os sistemas *self-etch* eliminam essa etapa de condicionamento ácido incorporando um primer ácido na sua composição, preparando assim o substrato dentário incorporando a *smear layer* à interface adesiva. Dependendo da apresentação do primer ácido e da resina, esses adesivos podem ser de uma ou duas etapas e podem ser apresentados em conjunto ou separadamente. Os adesivos *self-etch* são classificados de acordo com seu pH, com níveis variando de "suave" a "agressivo". Estes últimos apresentam um potencial de desmineralização mais elevado, o que pode influenciar sua eficácia (Van Meerbeek et al., 2011). Os adesivos universais representam um avanço significativo no domínio dos adesivos, oferecendo uma solução versátil e simplificada para os procedimentos de adesão. A sua capacidade de combinar o primer e a resina adesiva numa única aplicação reduz a complexidade dos procedimentos clínicos, permitindo intervenções mais rápidas e menos sujeitas a erros técnicos. (Van Meerbeek et al., 2020)

A crescente demanda por materiais adesivos deste tipo tem impulsionado o desenvolvimento de adesivos universais, projetados para se adaptarem a qualquer método de adesão, seja *self-etch* ou *etch-and-rinse*. Esta evolução marcou uma mudança significativa no campo da medicina dentária, pois estes produtos são desenvolvidos para funcionar harmoniosamente com várias superfícies dentárias e materiais de restauração, oferecendo assim uma versatilidade e facilidade de uso inestimáveis para os profissionais dentários. Estes adesivos universais visam simplificar os procedimentos clínicos enquanto mantêm um nível de desempenho adesivo ótimo, tornando-se assim um campo de pesquisa e aplicação constantemente em evolução no contexto da medicina dentária contemporânea (Scotti et al., 2017).

Não parece existir uma definição precisa na literatura do que exatamente é um adesivo universal, mas é imperativo fazer a distinção entre esses produtos e os adesivos all-in-one de 7ª geração. A sua introdução no mercado começou em 2011 e desde então, têm despertado considerável interesse no campo da medicina dentária adesiva. Ao contrário dos adesivos da 7ª geração, os adesivos universais devem atender a critérios adicionais, conforme indicado no trabalho de Alex G e al. (2015), para serem classificados como tal. É importante notar que o conceito de universalidade pode variar entre os fabricantes, mas geralmente engloba vários parâmetros cruciais. Primeiramente, esses adesivos devem ser compatíveis com técnicas de condicionamento total e autocondicionamento, proporcionando assim a flexibilidade necessária para escolher o protocolo mais adequado à sua prática clínica. Além disso, devem ser compatíveis com restaurações diretas e indiretas, permitindo o seu uso em uma variedade de casos clínicos, desde restaurações simples até complexas. (Todd J-C e al (2015)

Os adesivos universais devem também ter a capacidade de se ligar eficazmente a diferentes substratos, incluindo dentina, esmalte, materiais de restauração como compósitos e cerâmicas, bem como ligas metálicas. Essa versatilidade é essencial para garantir uma adesão confiável em várias situações clínicas, facilidade de uso e rapidez de aplicação. (Scotti et al., 2017)

Devem ainda ser capazes de serem utilizados com materiais de restauração de polimerização dual ou autopolimerizáveis sem a necessidade de um ativador separado.

Essa característica simplifica o processo de restauração e garante uma polimerização eficaz do material restaurador. (Todd J-C e al (2015)

Por fim, os adesivos universais também podem servir como primer para restaurações indiretas, como cerâmicas ou ligas metálicas, facilitando assim o processo de cimentação e garantindo uma adesão duradoura entre a restauração e a estrutura dentária.

Esses critérios definem as características essenciais dos adesivos universais, posicionando-os como ferramentas versáteis e indispensáveis na prática da odontologia moderna, como corroborado pelo trabalho de Todd J-C e al (2015). Os fabricantes concordaram que os adesivos universais devem ser condicionados numa única embalagem sem a necessidade de mistura prévia. No entanto, há alguma ambiguidade na classificação de alguns produtos comercializados sob a categoria de adesivos universais. Portanto, é difícil agrupá-los em uma definição única, pois o seu desempenho pode variar de um produto para outro, embora o objetivo comum seja ser o mais versátil e fácil de usar possível, daí o termo "universal". (Todd J-C e al (2015). Os adesivos universais, portanto, geralmente podem ser aplicados numa única etapa, autocondicionantes, ou em duas etapas, condicionamento ácido e lavagem (se o ácido fosfórico for utilizado).(Todd J-C e al (2015).

Os adesivos universais são constituídos essencialmente por monómeros funcionais e monómeros estruturais em solventes. Esses monómeros funcionais são compostos químicos que possuem pelo menos um grupo polimerizável e um grupo funcional que permite a molhabilidade e a desmineralização do substrato dentário. Entre esses monómeros funcionais, o 10-metacrilóxiodecil di-hidrogênio fosfato (10-MDP) destaca-se como um éster de fosfato com propriedades notáveis. Este composto apresenta um grupo metacrilato hidrofóbico numa extremidade, que promove a adesão a resinas com metacrilatos e cimentose. Na outra extremidade há um grupo fosfato hidrofílico permitindo a adesão aos tecidos dentários, metais e óxido de zircônio. (Alex, G. *et al.* (2015)

O 10-MDP é caracterizado por um "logP" de 4,1 (este valor permite entender a natureza hidrofílica ou hidrofóbica de um produto, aqui indicando sua forte hidrofobicidade). Essa propriedade deve-se principalmente à sua longa cadeia carbônica central composta por

10 átomos de carbono, o que lhe confere estabilidade em solução e o protege da degradação hidrolítica da interface adesiva ao longo do tempo. Essa estabilidade também contribui para sua longa vida útil, um aspecto crucial na área odontológica. (Alex, G. *et al.* (2015)

Além disso, o 10-MDP atua como um agente de ligação essencial nos adesivos universais, formando uma ligação química robusta com as superfícies de hidroxiapatita presentes na dentina. Quando o 10-MDP reage com o cálcio da hidroxiapatita, forma sais insolúveis de MDP-Ca₂, reforçando assim a ancoragem do adesivo à dentina. Essa interação química reforça significativamente a ligação entre o material restaurador e o dente, contribuindo para uma resistência mecânica aumentada das restaurações dentárias. Essas características tornam o 10-MDP um componente indispensável dos adesivos universais, garantindo desempenho adesivo ótimo e durabilidade a longo prazo das restaurações dentárias. Os mecanismos de ligação química associados ao 10-MDP são, portanto, um componente crucial da eficácia dos adesivos universais na odontologia moderna. (Carrilho *et al.* (2019)

O GPDM (logP = 2) está presente apenas no OptiBond eXTRa Universal - Kerr™ e OptiBond Universal - Kerr™ em vez do 10-MDP, e possuem um grupo fosfato. Ele torna a dentina mais hidrofílica, mas a ligação entre a hidroxiapatita (HAp) e o GPDM é mais fraca do que com o 10-MDP (Van Meerbeek., 2011). Há ainda outros monómeros funcionais com um grupo fosfato como o 3D-SR (Tokoyama™) o PENTA (logP= 2,6) e o MTU-6. (Van Meerbeek, B. *et al.* (2010))

O 4-META que se torna após hidrólise o 4-MET (logP = 1,7) da GC™, o MCAP e o copolímero Vitrebond da 3M-ESPE™ possuem um grupo carboxilo capaz de se ligar quimicamente. O HEMA (logP = 0,26) permite a molhabilidade e a infiltração do adesivo na dentina através do seu grupo hidroxila, que também age para retardar a separação de fases dentro do frasco e permite a miscibilidade dos componentes entre si (Migliari G., 2017).

O outro componente importante dos adesivos universais são os monómeros estruturais (metacrilatos ou dimetacrilatos). Existem ainda os solventes, que aumentam a

molhabilidade do adesivo, solubilizam e transportam os monómeros no colágeno. Os solventes principais são acetona, etanol e água, presentes em diferentes proporções frequentemente não especificadas. A água está presente em todos os adesivos universais porque é indispensável para a ionização dos monómeros ácidos, mas será mais complicada de "secar / evaporar" em comparação com a acetona. Eles podem ser associados como a acetona, o etanol e a água no OptiBond eXTRa Universal™ e OptiBond Universal™ e Adhese Universal™, exceto no Palfique Bond U onde o etanol é substituído por isopropanol. As misturas de água / etanol são mais frequentemente usadas como solventes porque são menos voláteis que a acetona, para evitar uma evaporação rápida. Também existem os foto-iniciadores: sistema de canfroquinona, CQ, os iniciadores químicos: aril sulfonato (sal de sódio do ácido sulfônico) que está presente apenas no Futurabond U™ e Optibond eXTRa U™ . (Migliau G., 2017).

O último componente a falar dos adesivos é a carga, que permite modificar a viscosidade e a resistência após a polimerização, mas as informações fornecidas pelos fabricantes são poucas. (Migliau G., 2017).

A diferença principal entre os adesivos universais dependerá da presença ou não de certos monómeros e solventes. No entanto, as proporções de cada componente muitas vezes são apenas aproximadas. Isso afetará o comportamento e o desempenho do adesivo (Migliau G., 2017).

Os adesivos universais não estão isentos de desvantagens. A sua baixa espessura de filme e a presença de HEMA, um monómero hidrófilo, favorecem a absorção de água e a degradação hidrolítica da interface adesiva. A incorporação de silano, necessária para a ligação química às cerâmicas vítreas, limita a acidez dos adesivos universais, reduzindo assim a sua eficácia de condicionamento e ligação. Os ésteres do 10-MDP, embora cruciais para a formação de ligações estáveis, são sensíveis à degradação hidrolítica, necessitando de alternativas mais resistentes para melhorar a estabilidade química e hidrolítica. (Van Meerbeek et al., 2020)

Nessa perspectiva, dois testes específicos são comumente utilizados para avaliar a resistência à adesão entre os materiais de restauração e a dentina: o teste de resistência ao cisalhamento e o teste de microtração. O teste de resistência ao cisalhamento envolve a

aplicação de uma força tangencial para avaliar a força necessária para romper a ligação entre o adesivo e a dentina. Este método simula as forças de cisalhamento às quais as restaurações estão sujeitas durante a exposição a tensões mecânicas na cavidade oral, como a mastigação. (AlJehani YA., *et al* (2016) Por outro lado, o teste de microtração consiste em aplicar uma força axial para medir a resistência do adesivo à separação da dentina. Este teste permite avaliar a capacidade do adesivo de manter uma ligação estável com a dentina em condições de stress semelhantes às encontradas na boca. (Fernandes Jr VVB., (2016).

O objetivo principal desta revisão integrativa é aprofundar a compreensão dos fatores que influenciam a força de adesão dos adesivos universais à dentina. Estes fatores incluem as características morfológicas da dentina que podem afetar a interface adesiva, bem como as propriedades mecânicas, que influenciam a estabilidade da ligação. Além disso, as propriedades químicas dos adesivos, incluindo sua composição e capacidade de interagir com a dentina, são também determinantes essenciais na sua performance adesiva.

Ao examinar estes factores detalhadamente, pretende-se identificar as melhores práticas para otimizar a adesão com a aplicação dos adesivos universais. Isso pode incluir o desenvolvimento de formulações de adesivos aprimoradas, a otimização dos protocolos de aplicação clínica e o uso de técnicas específicas de preparação da superfície dentária para melhorar a interação entre o adesivo e a dentina. Ao compreender melhor os mecanismos subjacentes à adesão dentária, pretende-se melhorar a qualidade e a durabilidade das restaurações dentárias, proporcionando resultados clínicos mais confiáveis e duradouros para os pacientes.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Em termos metodológicos e tendo por base os objetivos delineados, foi realizado uma Revisão Integrativa da Literatura através da pesquisa e análise de artigos científicos presentes nas bases de dados on-line, PubMed Central (PMC) Elsevier e Science direct, nos últimos 15 anos com o recurso às seguintes palavras-chave: *adhesion OR dental adhesive OR dental bonding AND dentine bonding agent AND universal adhesive AND Bond strength*. Durante o processo de seleção de artigos, foram considerados critérios adicionais, como a relevância do estudo para a prática clínica e a qualidade metodológica dos trabalhos selecionados. Esta abordagem permitiu uma análise abrangente e atualizada da literatura disponível sobre o tema, proporcionando uma base sólida para as conclusões e recomendações apresentadas nesta revisão. Com base nas palavras-chave supracitadas, esta pesquisa foi submetida a critérios de inclusão e exclusão. Foram selecionados apenas os artigos de idioma inglês, artigos publicados nos últimos 15 anos e os que apresentam informação relevante para a temática em estudo. Para a elaboração desta revisão integrativa foram considerados os critérios PICO (Participantes, Intervenção, Controle, Outcome), com o objetivo de formular a questão à qual este trabalho pretende responder. (Ver tabela 1) Este processo metodológico rigoroso garantiu a inclusão de estudos pertinentes e a exclusão de trabalhos que não atendiam aos critérios estabelecidos, proporcionando uma revisão abrangente e confiável da literatura existente sobre adesivos dentários universais e sua força de adesão à dentina.

Tabela 1. Descrição da estratégia de pesquisa do método PICO associada com os critérios de inclusão e exclusão

PICO	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO
Participantes	Dentes permanentes com avaliação da dentina	Dentes decíduos
Intervenção	Aplicação de adesivos universais com diferentes composições e técnicas de aplicação	Dados incompletos na avaliação da técnica e composição do adesivo utilizado
Controlo	Comparação entre diferentes adesivos universais (composições e técnicas de aplicação)	Comparação entre adesivos universais e não universais
Outcome	Força de adesão (cisalhamento, tração)	Outros métodos de avaliação de força de adesão que não a resistência ao cisalhamento e à tração

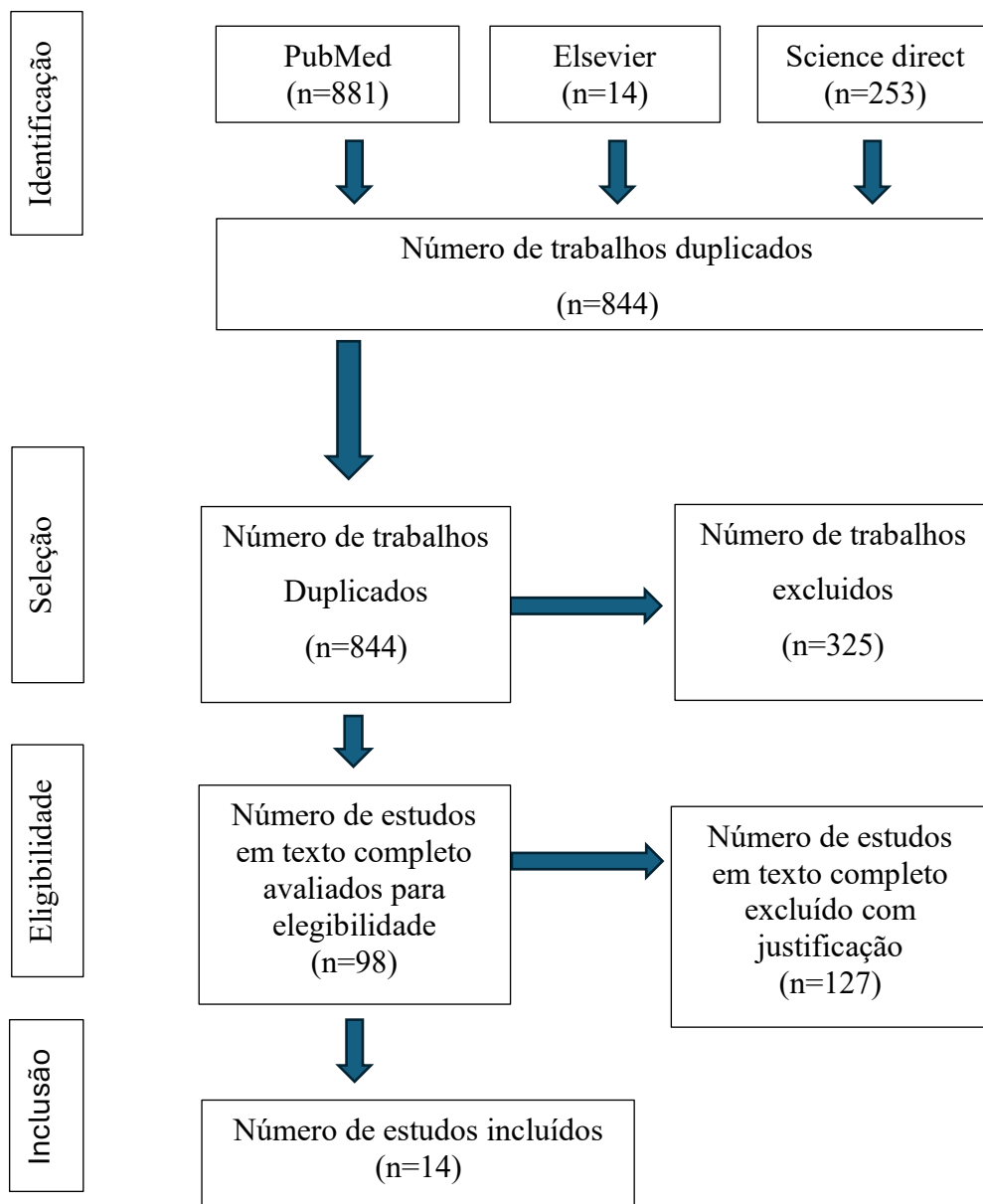
Os critérios de inclusão são os seguintes: Estudos *in vitro*, revisões narrativas, sistemáticas e meta-análises, publicadas em português, inglês e francês, nos últimos 15 anos e de acesso gratuito. É necessário descrever o método de avaliação da força de adesão, a técnica/estratégia de adesão e a composição do sistema adesivo universal utilizado. Os critérios de exclusão correspondem aos seguintes: Artigos de outros idiomas, estudos fora do período determinado, descrição de casos clínicos; análise da força de adesão no esmalte; dados incompletos na avaliação da técnica e composição do adesivo utilizado.

A partir dos termos de pesquisa utilizados, foram identificados 1148 artigos potencialmente elegíveis. Após a aplicação dos critérios de exclusão, 98 artigos foram incluídos. A partir de uma triagem inicial, realizada através da leitura dos títulos e dos resumos, foram selecionados 25 estudos para leitura integral. Posteriormente, foram considerados 14 artigos para a realização desta revisão integrativa, os quais preenchem os critérios de inclusão.

Esta análise foi realizada de forma independente por 2 revisores, tendo os resultados obtidos sido discutidos pela integração dos critérios de inclusão/exclusão, pela análise de cada artigo a incluir nesta revisão, pelo título, pelo *abstract* e pela leitura do artigo na

íntegra. Esta metodologia está representada de acordo com o diagrama PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-analyses).

Figura 1. Diagrama de fluxo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)



2.2. RESULTADOS

Concluída a fase de pesquisa literária sobre os adesivos universais e os fatores influenciadores da adesão à dentina, foram identificados 14 artigos com base na evidência científica atual. Para uma compreensão mais aprofundada da literatura selecionada, estritamente relacionada com o tema, serão descritos abaixo os diversos objetivos de cada estudo, bem como os materiais e métodos utilizados, os resultados obtidos e as conclusões alcançadas (tabela 2 e 3). Esses elementos estão organizados por tipo de estudo (in vitro vs revisão sistemática/meta-análise) e são posteriormente analisados e discutidos, contribuindo para uma síntese abrangente do conhecimento atual nesta área de estudo.

Tabela 2. Características relevantes dos estudos *in vitro* incluídos na revisão integrativa

Fatores que interferem na adesão à dentina.	Autores e ano da publicação	Tipo de estudo	Objectivo do estudo	Fatores avaliados	Resultados
Avaliação da influência da estratégia adesiva: ER vs SE	Takamizawa, T. et al. (2015)	Estudo <i>in vitro</i>	Determinar a influência do tipo de condicionamento, nas ligações à dentina de adesivos universais	*Força de adesão de AU com estratégia ER vs SE	A força de adesão dos AU demonstrou ser semelhante na estratégia ER e na SE. O uso de AU em modo ER não parece ter um impacto negativo na adesão à dentina
	Muñoz, M. A. et al. (2013)	Estudo <i>in vitro</i>	Avaliar a força de ligação à dentina e o grau de conversão dentro da camada híbrida, de acordo com a estratégia de aplicação (ER vs SE)	*Força de adesão de AU com estratégia ER vs SE *nano-infiltração da camada híbrida *grau de conversão	Os AU foram inferiores aos adesivos de controlo, em pelo menos uma das propriedades testadas. A composição e dos AU, tem uma relação directa no seu comportamento
	Huseyin, H. et al. (2022)	Estudo <i>in vitro</i>	Avaliar os efeitos da smear layer criada com vários tipos de Instrumentos de corte rotativo, e dos diferentes tipos de adesivos (SE vs AU – estratégia SE) na força de adesão à dentina	- Tipos de brocas (laminadas de carboneto tungsténio vs diamantadas com diferentes grãos) - Tipo de adesivo (SE 2 passos – suave vs AU – moderadamente forte – estratégia SE vs AU ultra-suave- estratégia SE)	O tipo de broca e de adesivo tiveram um impacto significativo na força de adesão à dentina. Devem usar-se brocas de carboneto de tungsténio ou brocas extrafinas de diamante para terminar os preparos cavitários, seja qual for o tipo de adesivo escolhido. O adesivo SE 2 passos obteve valores de maior adesão do que os AU.

Tabela 2. Características relevantes dos estudos *in vitro* incluídos na revisão integrativa

Fatores que interferem na adesão à dentina.	Autores e ano da publicação	Tipo de estudo	Objectivo do estudo	Fatores avaliados	Resultados
Avaliação da influência da estratégia adesiva: ER vs SE	Zhang, Z. et al. (2016)	Estudo in vitro	Avaliar a força de adesão de AU à dentina a curto e a longo prazo, com diferentes estratégias de adesão (ER vs SE) .	*Força de adesão de AU com estratégia ER vs SE *Força de adesão a curto (24h) e a longo prazo (12 meses)	A força de adesão foi significativamente influenciada pela estratégia de adesão (SE mais resistente à degradação do que ER) e pelo tempo de avaliação (AU não são capazes de impedir a degradação da força de adesão a longo prazo).
	Yamauchi, K. et al. (2019)	Estudo in vitro	Examinar o desempenho dos AU em termos de força de adesão e características interfaciais da dentina	**Vários parâmetros de energia livre superficial entre AU diferentes, com diferentes estratégias de adesão	O desempenho dos AU em ambas as estratégias foi eficaz, embora que tenham mecanismos/razões muito diferentes para os resultados de adesão.
	Chen et al., (2015)	Estudo in vitro	Avaliar o desempenho de cinco adesivos universais com a estratégia ER e SE a curto e longo prazo na dentina.	*Força de adesão de 5 diferentes tipos de AU com estratégia ER vs SE, com e sem termociclagem (Testes de força de adesão e análise por microscopia)	Encontraram uma diferença significativa entre a força de adesão à dentina dos diferentes adesivos, mas não entre as diferentes estratégias/por adesivo.

Tabela 2. Características relevantes dos estudos *in vitro* incluídos na revisão integrativa

Fatores que interferem na adesão à dentina.	Autores e ano da publicação	Tipo de estudo	Objectivo do estudo	Fatores avaliados	Resultados
Avaliação da influência da estratégia adesiva: ER vs SE	Yoshihara, K. et al. (2011)	Estudo in vitro	Determinar se há diferenças na formação de nanocamadas no esmalte e na dentina; se depende da existência/concentração de 10-MDP e da técnica de aplicação do adesivo	*Concentração de 10-MDP no adesivo e seu papel na formação de nanocamadas na dentina (avaliação por microscopia e análise química, e testes de força de adesão)	A fricção do primer com 10-MDP durante 20 seg, e o aumento da sua concentração melhorou a formação de nanocamadas
pH do adesivo universal	Huseyin, H. et al. (2022)	Estudo in vitro	Avaliar a força de adesão à dentina dos diferentes tipos de adesivos (SE vs AU – estratégia SE)	Tipos de adesivos: Clearfil SE Bond (SE, Kuraray Noritake), Single Bond Universal (SB; 3M Oral Care) e G-Premio Bond (GP, GC)	Tipo recomendado: adesivos autocondicionantes suaves e ultra-suaves.

Tabela 2. Características relevantes dos estudos *in vitro* incluídos na revisão integrativa

Fatores que interferem na adesão à dentina.	Autores e ano da publicação	Tipo de estudo	Objectivo do estudo	Fatores avaliados	Resultados
Avaliação da influência do condicionamento ácido na dentina	Kharouf, N. et al. (2019)	Estudo in vitro	Determinar a influência do tipo de estratégia com AU (ER vs SE) e da técnica (com ou sem fricção do adesivo na dentina)	- Tipo de estratégia adesiva com AU: *SE *ER – 3 seg ataque ácido na dentina com fricção do adesivo *ER – 3 seg ataque ácido na dentina sem fricção do adesivo	Recomenda-se o condicionamento com ácido fosfórico a 37% durante 3 segundos na dentina, sem fricção do AU (estratégia ER).
	Tsujimoto, A. et al. (2017).	Estudo in vitro	Observar as características interfaciais e a durabilidade da adesão dos AU em diferentes substratos	*Vários parâmetros de energia livre superficial entre 2 AU diferentes, com e sem condicionamento à dentina	Não se obtiveram diferenças significativas na força de adesão dos AU, com ou sem condicionamento

Tabela 3. Características relevantes dos estudos de **revisão sistemática/meta análise** incluídos

Fatores que interferem na adesão à dentina.	Autores e ano da publicação	Tipo de estudo	Objectivo do estudo	Fatores avaliados	Resultados
Avaliação da influência da estratégia adesiva: ER vs SE	Elkaffas, A. et al. (2018)	Revisão sistemática e meta-análise	Avaliar a força de adesão dos adesivos universais à dentina na estratégia ER vs SE	*Força de adesão de AU com estratégia ER vs SE	Não houve diferença significativa entre a força de adesão obtida com estratégia ER ou SE.
	Triani, F. et al (2022)	Revisão sistemática e meta-análise	Avaliar o impacto da estratégia de adesão (ER vs SE) na força de adesão dos adesivos universais à dentina	*Força de adesão de AU com estratégia ER vs SE (TBS e SBS)	Não houve diferença significativa entre a força de adesão obtida com estratégia ER ou SE.
Influência do Monómero 10-MDP na constituição do AU	Carrilho, E. et al. (2019)	Revisão sistemática	Avaliar a força de adesão e a estabilidade dos adesivos com 10-MDP em comparação com outros monómeros funcionais dos sistemas adesivos dentários	*Força de adesão (SE e AU) *Capacidade de formação de zona resistente a desafios ácido-base e de formação de nano-estruturas. *Estabilidade dos adesivos ao longo do tempo (com e sem 10-MDP)	A incorporação de 10-MDP, favorece uma adesão forte e estável, mas é dependente da técnica de aplicação. Deve efectuar-se um <i>pré-etching</i> do esmalte, friccionar-se o adesivo na dentina durante algum tempo, para maximizar a adesão.

Tabela 3. Características relevantes dos estudos de revisão sistemática/meta análise incluídos

Fatores que interferem na adesão à dentina.	Autores e ano da publicação	Tipo de estudo	Objectivo do estudo	Fatores avaliados	Resultados
Avaliação da influência da estratégia adesiva e do pH do AU	Cuevas-Suárez, C. A. et al. (2019)	Meta-análise	Avaliação da força de adesão imediata e a longo prazo dos adesivos universais, em função da estratégia de adesão (ER vs SE) e do pH do adesivo.	pH do AU Estratégia de adesão (ER vs SE) dos AU	<p>*A força de adesão a:</p> <p><u>AU moderadamente ácidos e ultra-suaves:</u> A curto prazo melhorou com Estratégia ER A longo prazo piorou, independentemente da estratégia de adesão.</p> <p><u>AU suaves:</u> * Ambas as estratégias ER e SE apresentam estabilidade de adesão a curto e a longo prazo. *Não é recomendado um condicionamento ácido da dentina com AU moderadamente ácidos e ultra-suaves *A melhor força de adesão resulta de um pré-condicionamento ácido selectivo no esmalte, e aplicação de AU suaves</p>

Tabela 3. Características relevantes dos estudos de revisão sistemática/meta análise incluídos

Fatores que interferem na adesão a dentina.	Autores e ano da publicação	Tipo de estudo	Objective de estudo	Fatores avaliados	Resultados
Aplicação de múltiplas camadas de adesivo	Hardan, L. <i>et al.</i> (2021)	Revisão sistemática e Meta-análise	Avaliação dos factores que aumentam a força de adesão dos AU à dentina.		Foram identificados como potenciadores da força de adesão, os seguintes factores: Aplicação prévia de inibidores das MMP, tempo de aplicação prolongado, técnica de fricção do adesivo, condicionamento seletivo da dentina, aplicação de plasma não atmosférico, aplicação etanol (100%), tempo de secagem prolongado, aplicação de múltiplas camadas, tempo de fotopolimerização prolongado e aplicação extra de camada hidrofóbica

2.2.1 - Takamizawa, T. *et al.* (2015)

Este artigo tem como objetivo determinar a influência da estratégia de condicionamento nas ligações à dentina de novos adesivos universais através de testes de fadiga.

Para isso, foram realizados testes de resistência ao cisalhamento e de fadiga por cisalhamento em dentes no modo ER e SE. Para cada teste, foram utilizados 15 dentes para o teste de resistência ao cisalhamento e 30 dentes para o teste de fadiga por cisalhamento. Os resultados mostraram que entre os AU, o Prime & Bond elect™ foi o único que no modo ER apresentou valores mais elevados de resistência nos testes do que no modo SE. Para os outros adesivos, All Bond Universal™ e Scotchbond Universal™, não houve diferença significativa para os dois testes entre o modo SE e ER. No entanto, o adesivo controlo - SE de uma etapa Clearfil Bond SE ONE™ apresentou valores de resistência ao cisalhamento e de resistência à fadiga por cisalhamento significativamente inferiores no modo ER em comparação com o modo SE. Ao examinar os testes, para o Prime & Bond elect™ e All Bond Universal™, os grupos no modo ER mostraram rácios mais elevados do que os grupos no modo SE.

Com base nos resultados obtidos pelo artigo, pode-se concluir que, a influência das diferentes estratégias de condicionamento nas ligações à dentina dos AU depende do material adesivo utilizado. Não há no entanto um impacto negativo da estratégia ER na qualidade da adesão à dentina.

2.2.2 Muñoz, M. A. *et al.* (2013)

Esta revisão científica tem como objetivo avaliar a força de ligação à dentina e avaliar o grau de conversão dentro da camada híbrida para os métodos SE e ER de AU. Para isso, quarenta e três molares foram utilizados e divididos em oito grupos para teste, conforme a estratégia adesiva: Clearfil SE Bond™ e Adper Single Bond 2™, como controles; Sistema adesivo universal Peak™, SE e ER; Adesivo universal Scotchbond™, SE e ER; All Bond Universal™, SE e ER. Após a restauração dos dentes com os diferentes adesivos, os dentes foram mantidos em água a 37 °C por 24 horas. Para cada grupo, foram preparados e testados sob tensão de 0,5 mm/min. O pH de cada solução foi avaliado e os dados foram analisados com ANOVA unidirecional e teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Com estes testes, demonstrou-se que a escolha do material desempenha um papel importante

no desempenho dos AU. Este estudo concluiu que quando os AU foram testados usando a estratégia de SE ou ER na dentina, eles foram inferiores aos controles respectivos em pelo menos uma das propriedades testadas. A performance dos adesivos universais é dependente da constituição do adesivo.

2.2.3 Huseyin, H. *et al.* (2022)

Neste estudo, os autores propuseram-se a avaliar os efeitos da *smear layer* criada com vários tipos de instrumentos de corte rotativo, e a força de adesão à dentina (TBS) de um adesivo SE – 2 passos em de referência e dois AU. Para alcançar esse objetivo, eles selecionaram dentes de 90 pacientes, os quais foram expostos e divididos em três grupos de acordo com as brocas (diamante grosso, diamante fino ou carboneto de tungstênio). Cada grupo foi posteriormente subdividido em outros três grupos, aos quais foram aplicados três adesivos diferentes: Clearfil SE Bond™ (SE, Kuraray Noritake), Single Bond Universal™ (SB; 3M Oral Care) e G-Premio Bond™ (GP, GC). Após a aplicação dos diferentes adesivos, foi utilizada resina composta com quatro milímetros de espessura para padronização. Metade dos dentes de cada grupo foi usada para um teste TBS imediato, enquanto os outros foram submetidos a um envelhecimento térmico antes do teste. Os resultados deste estudo não revelaram nenhuma falha durante o pré-teste. Utilizando a análise de variância de três fatores, os pesquisadores demonstraram que tanto o tipo de adesivo quanto a preparação da superfície da dentina foram variáveis importantes, com resultados estatisticamente significativos, ao contrário do efeito do envelhecimento térmico, que não mostrou diferenças significativas nos resultados da TBS. Interessantemente, os resultados obtidos após o envelhecimento térmico foram consistentes com os resultados da TBS imediata. Após os testes, foi registrada a quantidade de fraturas para cada grupo, evidenciando uma maioria de fraturas de coesão nos grupos com μ TBS mais elevados. Com base nos resultados deste estudo, é possível observar que tanto a preparação da superfície da dentina quanto o tipo de adesivo utilizado exercem efeitos significativos na TBS. Além disso, este estudo destaca a importância da escolha da broca, concluindo que brocas extrafinas de diamante e de carboneto de tungstênio são favoráveis quando se utilizam adesivos autocondicionantes suaves e ultra-suaves.

2.2.4 Zhang, Z. et al. (2016)

Este estudo tem como objetivo avaliar a ligação da dentina a longo prazo de cinco AU no modo SE ou ER após doze meses de envelhecimento em água. Para isso, os adesivos utilizados foram: All-Bond Universal™, Clearfil Universal Bond™, Futurabond U™, Prime&Bond Elect™ e Scotchbond Universal™. Após 24 horas ou 12 meses, as forças de ligação em microtração foram examinadas, bem como a microscopia eletrónica de transmissão das interfaces resina-dentina. Uma vez realizados os testes, os resultados mostraram que a força de ligação foi significativamente afetada pela estratégia de ligação, SE ou ER, e pelo envelhecimento de 24 horas ou 12 meses. Todos os grupos sofreram uma diminuição na força de adesão após o envelhecimento, exceto o Prime&Bond Elect™ e o Scotchbond Universal™ usados no modo SE. Os cinco adesivos no modo ER mostraram degradação do colágeno e hidrólise da resina. Um novo modelo de organização do colágeno foi descoberto em camadas híbridas formadas por adesivos contendo 10-MDP (como All-Bond Universal™, Scotchbond Universal™ e Clearfil Universal Bond™) quando usados com o método ER. Esse processo resulta na formação de filamentos de colágeno parcialmente degradados, com uma periferia intacta e um núcleo oco. Por outro lado, quando usados no modo SE, todos os adesivos, exceto o Prime&Bond Elect™, mostram uma degradação dos filamentos de colágeno ao longo das camadas híbridas. Os AU contendo 10-MDP não conseguem proteger os filamentos de colágeno da superfície contra a degradação quando usados no modo SE. A conclusão deste artigo é que, apesar do facto do modo de ligação SE ser mais resistente do que o modo de ligação por ER, as ligações feitas por a AU são na maioria dos casos incapazes de resistir ao envelhecimento.

2.2.5 Yamauchi, K. et al. (2019)

Este artigo tem como objetivo examinar o desempenho dos AU em termos de força de adesão inicial, resistência à fadiga das ligações, modos de falha, características interfaciais da dentina e observação ao microscópio eletrónico de varredura (MEV) da interface de ligação. Os resultados mostram que a força de adesão inicial e a resistência à fadiga das ligações não são significativamente afetadas pela estratégia de condicionamento, mas dependem principalmente do material. A análise dos modos de

falha revela principalmente rupturas adesivas. As características interfaciais da dentina variam de acordo com o tipo de adesivo utilizado e o modo de condicionamento, mas não parecem influenciar a resistência à fadiga das ligações. A observação ao MEV mostra uma boa adaptação da interface resina-dentina, embora sejam observadas fissuras na camada adesiva de alguns adesivos. O artigo conclui sobre a importância de compreender os mecanismos de ligação dos AU para melhorar seu desempenho e destaca a necessidade de pesquisas adicionais para esclarecer a relação entre a resistência à fadiga das ligações e os resultados clínicos.

2.2.6 Chen, C. *et al.* (2015)

Este artigo tem como objetivo estudar o desempenho de cinco AU a curto e longo prazo na dentina. Para isso, foram utilizados duzentos e três molares, divididos em cinco grupos de acordo com o tipo de adesivo universal (Prime&Bond Elect™, Scotchbond Universal™, All-Bond Universal™, Clearfil Universal Bond™ e Futurabond U™), com dois métodos de adesão, ER e SE. Para realizar o teste, os molares foram colocados em água desmineralizada durante 24 horas para envelhecimento por termociclagem. Após a etapa de envelhecimento, os molares foram submetidos a um teste de ligação por microtração e observados por microscopia eletrônica de transmissão. Os resultados deste teste mostraram que o tipo de adesivo e as condições do teste, realizadas com ou sem termociclagem, têm uma influência significativa na força de ligação à dentina. A estratégia de adesão não teve impacto nos resultados.

A conclusão deste artigo é que, apesar dos avanços diante dos desafios enfrentados com os adesivos da geração anterior, o uso dos AU não é consensual e ainda apresenta defeitos. De acordo com as promessas feitas para estes novos adesivos, deveriam ser mais simples de usar e mais rápidos, mas sem comprometer a sua eficácia em termos de ligação. De acordo com os resultados, pode-se dizer que a escolha do tipo de adesivo pode comprometer a força de adesão à dentina e, portanto, comprometer uma restauração.

2.2.7 Kharouf, N. *et al.* (2019)

O objetivo primordial deste estudo é determinar a influência da estratégia de adesão e se o condicionamento utilizando a técnica de fricção exerce influência sobre a força de união

em microtensão dos AU à dentina. Para tal, foram utilizados 18 dentes extraídos nos quais foram aplicadas duas técnicas de ER: uma com fricção e outra sem fricção, além de uma técnica de SE utilizando sistemas AU. Após um período de 24 horas, os dentes foram submetidos a testes de tração até a ruptura. A análise dos resultados foi conduzida por meio de um teste de análise de variância (ANOVA). Os resultados obtidos revelaram que a técnica de ER com fricção resultou numa força de adesão significativamente inferior ($42,11 \pm 9,26$ MPa) em comparação com a técnica sem fricção ($47,30 \pm 8,12$ MPa). Além disso, a força de adesão foi significativamente mais elevada quando comparada com a técnica de SE ($38,07 \pm 9,49$ MPa). Com base nesses resultados, é possível concluir que o condicionamento com ácido fosfórico a 37% durante 3 segundos, sem fricção, é recomendado antes da aplicação de um AU na superfície dentária, visando melhorar a força de adesão.

2.2.8 Yoshihara, K. *et al.* (2011)

Este artigo tem como objetivo determinar se as nanocamadas são formadas na dentina quando um primer contendo 10-MDP é aplicado de acordo com um protocolo de aplicação clínica comum. Este estudo sobre a interação entre um primer experimental contendo 10-MDP e um primer de controle à base de 10-MDP comercializado com o esmalte e a dentina. Esta interação foi analisada usando difração de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de transmissão para caracterizar os dados ultraestruturais interfaciais. O efeito da concentração de 10-MDP na formação de nanocamadas na dentina também foi estudado. Os resultados mostraram a formação de nanocamadas na dentina, com uma maior espessura observada na dentina e uma proporção com a concentração de 10-MDP no primer. Além disso, foi observado que o primer experimental precisava de um fotoiniciador para obter uma resistência à tração comparável à do primer de controle na dentina. Em conclusão, este estudo sugere que nanocamadas auto-organizadas se formam na dentina, mesmo com um protocolo de aplicação clinicamente utilizado.

2.2.9 Tsujimoto, A. *et al.* (2017)

Neste artigo, o objetivo foi observar as características interfaciais e a durabilidade da adesão dos AU com diferentes substratos. Para isso, foram utilizados dois adesivos: Scotchbond Universal™ e G-Premio Bond™. Os substratos utilizados foram esmalte e dentina bovina com ou sem condicionamento ácido fosfórico, resinas compostas, cerâmicas vítreas reforçadas (dissilicato de lítio e leucita), zircônia e ligas metálicas. Um teste foi realizado para medir os ângulos de contato de três líquidos de ensaio e um compósito foi usado para determinar a resistência ao cisalhamento após 24 horas em água e 10.000 ciclos térmicos. Uma análise de variância unidirecional ANOVA e o teste post-hoc de Tukey foram utilizados para os dados de energia livre de superfície, e uma ANOVA bidirecional e o teste post-hoc de Tukey foram utilizados para a análise dos dados de resistência ao cisalhamento.

Os resultados obtidos por este estudo mostram que após o uso de irradiação luminosa no adesivo, não há diferença entre as características interfaciais do substrato. Este estudo também mostra que a qualidade da adesão e a durabilidade da adesão dos AU diferem dependendo do tipo de substrato e adesivo escolhidos. Os resultados deste estudo sugerem que os adesivos universais modificam as características interfaciais de uma ampla gama de substratos e criam uma superfície coesa, mas a durabilidade da adesão do AU em diversos substratos difere dependendo do tipo de substrato e adesivo.

2.2.10 Elkaffas, A. *et al.* (2018)

Esta revisão sistemática tem como objetivos avaliar a força de ligação dos AU à dentina e realizar uma meta-análise para avaliar a importância das diferenças na μ TBS de um dos adesivos mais utilizados (Scotchbond Universal™, 3M ESPE™) dependendo da estratégia utilizada, SE ou ER. Segundo os resultados, não ficou demonstrada nenhuma diferença estatisticamente significativa entre os modos SE e ER para o adesivo Scotchbond Universal™. A conclusão deste artigo é que a adesão à dentina com um AU pode ser realizada tanto no modo SE quanto no modo ER, sem diferenças na força de adesão.

2.2.11 Triano, F. *et al.* (2022)

O objetivo do artigo de Triani, F et al., publicado em 2022, foi avaliar a resistência da força de adesão dos AU aos tecidos dentários. Foi efectuada uma revisão sistemática dos estudos *in vitro*, comparando as estratégias de adesão SE e ER no esmalte e na dentina. O objetivo específico foi compreender a eficácia imediata e a longo prazo destes adesivos quando aplicados com uma técnica de restauração direta. As pesquisas realizadas focaram nas resistências de adesão dos AU aplicados com as estratégias ER e SE, incluindo estudos sobre a resistência ao cisalhamento e a microtração no esmalte e na dentina. Os resultados mostram que a adesão dos AU ao esmalte é melhor com o método ER, enquanto a estratégia de adesão não afeta significativamente a adesão à dentina. Os estudos *in vitro* sugerem que o método SE pode ser mais eficaz para melhorar a resistência de adesão dos AU à dentina. Para otimizar a adesão ao esmalte, é recomendada uma gravação seletiva do esmalte quando se utiliza o método SE.

2.2.12 Cuevas-Suárez, C. A. *et al.* (2019)

O objetivo principal desta revisão sistemática é fornecer uma avaliação detalhada do desempenho da ligação imediata e a longo prazo dos AU com pH e estratégias de adesão diferentes. Esta meta-análise abrange um total de 59 estudos *in vitro*, que foram meticulosamente analisados para extrair informação sobre o comportamento desses adesivos. Os resultados desses estudos indicam que, no que diz respeito à dentina, a eficácia da adesão utilizando AU classificados como ultra-suaves e moderadamente fortes, desaconselha o pré-etching dessa estrutura.

Além disso, observou-se que, após um período de envelhecimento, os adesivos moderadamente fortes e ultra-suaves, quando aplicados com ER apresentaram uma diminuição na força de adesão à dentina. No entanto, para os adesivos suaves, verificou-se uma estabilidade relativamente boa ao longo do tempo, mesmo após o envelhecimento, tanto para os métodos ER quanto para o SE.

2.2.13 Carrilho, E. *et al.* (2019)

Este artigo teve como objetivo examinar o efeito da incorporação de monómeros funcionais, especialmente o monómero 10-MDP, nos sistemas adesivos dentários. Pretende-se analisar a interface criada por esses sistemas e caracterizar sua capacidade de produzir uma ligação duradoura com a dentina. O estudo, realizado por meio de uma revisão sistemática, demonstra que o 10-MDP desempenha um papel crucial ao favorecer a criação de uma zona resistente a ácidos e bases na interface adesiva, o que melhora a capacidade de resistir aos desafios ácido-base e garante uma adesão duradoura ao longo do tempo. No entanto, para maximizar a eficácia desses sistemas, é essencial seguir protocolos de aplicação específicos, incluindo o uso de uma técnica para facilitar a infiltração dos monómeros, e permitir tempo suficiente para que a solução penetre, hibridize e forme o complexo MDP-Ca, reforçando assim a ligação. Os autores concluem que a escolha do monómero funcional, especialmente o 10-MDP, é crucial para obter uma ligação dentária estável e duradoura, mas ajustes clínicos são necessários para maximizar sua eficácia. Em última análise, o uso de técnicas específicas durante a aplicação desses adesivos permite otimizar seu desempenho e melhorar a qualidade das restaurações dentárias a longo prazo.

2.2.14 Hardan, L. *et al.* (2021)

Nesta meta-análise e revisão sistemática, o objetivo foi determinar as técnicas e estratégias adicionais que podem melhorar a força de adesão à dentina com AU. Para esta meta-análise, foram utilizados 61 estudos. Várias técnicas foram analisadas para determinar quais são as mais adequadas para melhorar a força de adesão à dentina: A adição de uma camada extra hidrofóbica permitiu obter uma melhor selagem da interface adesiva e, conseqüentemente, uma melhor prevenção da degradação da ligação. O aumento do tempo de fotopolimerização além das recomendações do fabricante, para melhorar a polimerização e reduzir a permeabilidade, tornaria o adesivo menos suscetível à absorção de água. Aumentar esse tempo para 40 segundos seria preferível. O aumento da força de adesão imediata com a aplicação de várias camadas de adesivo, o que permitiria a penetração dos monómeros e aumentaria as interações químicas e, assim, a força de adesão. O aumento do tempo de secagem do adesivo de 15 segundos para 30

segundos poderia melhorar as propriedades adesivas imediatas de alguns AU. A técnica de ligação húmida com etanol, que aumentaria a força de ligação imediata, selando a matriz dentinária, reduzindo assim a permeabilidade da interface dentina-resina, quando os colágenos são protegidos com sucesso, observando-se uma maior longevidade, criando assim uma ligação estável. O uso de plasma atmosférico não térmico melhora a força de ligação após o envelhecimento. O condicionamento seletivo da dentina, aplicando ácido fosfórico por 3 segundos na dentina, que após a lavagem e secagem deixa um substrato parcialmente desmineralizado, permitindo assim melhorar a força de adesão à dentina a longo prazo. Quanto ao uso de um tempo de aplicação mais curto e de dessensibilizantes dentinários, a força de adesão dos AU à dentina foi alterada. Os resultados desta análise mostram que as pesquisas são muito heterogêneas na maioria das vezes. Conclui-se que a adição de técnicas complementares ajuda a melhorar o desempenho da força de adesão à dentina com o uso de AU. Para melhorar a força de adesão, esta meta-análise poderia recomendar a aplicação ativa do adesivo e a evaporação do solvente por períodos superiores a 10 segundos, bem como um aumento do tempo de fotopolimerização até 40 segundos, e um ataque ácido seletivo da dentina durante 3 segundos. No entanto, também é recomendado evitar um tempo de aplicação mais curto e a aplicação de um dessensibilizante na dentina para não alterar a força de adesão.

2.3 DISCUSSÃO

O objectivo deste trabalho foi realizar uma revisão integrativa sobre os factores morfológicos, mecânicos ou químicos que podem interferir na adesão à dentina com o uso de AU. Perante a compreensão desses factores, é também intenção estabelecer possíveis indicações/ modificações de técnicas que possam aumentar a força de adesão dos AU à dentina.

A maior componente orgânica da dentina em relação ao esmalte, e a maior variabilidade da sua constituição de indivíduo para indivíduo, faz com que a adesão a esta estrutura seja muito menos eficaz e menos compreendida do que a adesão ao esmalte (Perdigão et al 2020). A evolução dos sistemas adesivos ao longo dos anos foi grande, sendo que a intenção foi sempre de tentar simplificar as etapas clínicas.

Os mecanismos primários de adesão de qualquer material restaurador são 1) a obrigatoriedade de existir molhabilidade da superfície; 2) Micro-retenções mecânicas; 3) Interação química.

Para que haja **molhabilidade** da superfície a aderir, há vários factores com papéis co-determinantes como a rugosidade da superfície, diferenças na energia de superfície (Ex: esmalte após ataque ácido (alta energia de superfície) vs dentina coberta com *smear layer* (baixa energia de superfície)), hidrofília/hidrofobia das superfícies, porosidades, etc... (De Munck J et al 2005).

A dentina é um tecido húmido devido ao líquido intra-tubular, pelo que os adesivos devem ser inicialmente hidrofílicos (baixo ângulo de contacto), e idealmente devem transformar-se em hidrofóbicos após a polimerização (elevado ângulo de contacto), para limitar a absorção de água e a consequente degradação hidrolítica. A *smear layer* interfere directamente na molhabilidade da superfície (Mine et al 2014, 2013)

Por esta razão, há vários autores que defendem o uso de brocas de acabamento de carboneto tungsténio para terminar as preparações dentárias, de forma a deixar uma *smear layer* mais fina e menos compacta, e desta forma com menor interferência na adesão (Van Meerbeek B, et al 2005). Também na nossa revisão, o estudo de Huseyin et al 2022, chegou à mesma conclusão, preconizando o uso destas brocas.

A **micro-retenção mecânica** dada essencialmente pelo condicionamento ácido no esmalte, facilita a criação de porosidades onde os adesivos/resinas se imiscuem, formando conexões altamente retentivas (macro e micro-tags de resina) (Van Meerbeek *et al.* 2020)

O condicionamento da dentina, não é tão consensual. Ele leva a uma desmineralização de 3 a 6 μm , expondo uma rede de colagénio que dificilmente hibridiza pela interdifusão com as resinas. Isto leva à formação de uma camada híbrida menos compacta, muito sensível à degradação hidrolítica, onde dificilmente há interação química com a estrutura dentinária. (Van Meerbeek *et al.* 2020). Por resta razão, os adesivos com pH muito ácido são preteridos, optando-se por adesivos com estratégia SE e com pH moderado. Estes contêm monómeros funcionais que permitem a criação de micro-retenções à dentina, dada a desmineralização parcial mais suave (1 μm), o que permite a interação química (ligações iónicas e de van der Waals) dos monómeros com a hidroxiapatite, que existe em abundância na fina camada híbrida. (Van Meerbeek *et al.* 2020). De acordo com o estudo de Huseyin, H. *et al.* (2022), selecionado para a nossa revisão, a escolha de adesivos universais com pH mais moderado, apresentam melhores resultados de adesão.

Os estudos de Kharouf *et al.* (2019) e de Tsujimoto *et al.* (2017) examinam ambos a eficácia dos AU utilizando diferentes estratégias de condicionamento à dentina. Kharouf *et al.* (2019) concentram-se na influência da estratégia adesiva e da técnica de aplicação (com ou sem fricção) na dentina. Eles recomendam um condicionamento com ácido fosfórico a 37% durante 3 segundos sem fricção do AU (estratégia ER), pois este método mostrou melhores resultados em termos de força de adesão. Por outro lado, Tsujimoto *et al.* (2017) estudam as características interfaciais e a durabilidade da adesão dos AU em diferentes substratos, comparando os adesivos com e sem condicionamento à dentina. Os seus resultados indicam que não há diferenças significativas na força de adesão dos AU, quer o condicionamento seja efectuado ou não. Em resumo, enquanto Kharouf *et al.* recomendam um método específico para melhorar a adesão, Tsujimoto *et al.* indica que o condicionamento da dentina não afeta significativamente a performance dos AU.

O pH dos adesivos universais é um fator chave que influencia o seu desempenho. Cuevas-Suárez *et al.* (2019) demonstraram que o pH pode afetar a reatividade dos componentes do adesivo com a superfície dentária. Por exemplo, os adesivos moderadamente ácidos podem funcionar de forma ótima em certas condições, enquanto outros necessitam de um pH neutro ou alcalino. Efectivamente, de acordo com o artigo de Van Meerbeek *et al.*

(2020), os adesivos universais não podem ser muito ácidos ($\text{pH} > 2,5$) porque um pH muito baixo afetaria a estabilidade do silano em solução aquosa ácida. No entanto, um pH mais elevado reduz a eficácia do condicionamento e da adesão. O pH influencia não só a reatividade química, mas também a capacidade do adesivo de penetrar e interagir com as estruturas dentinárias. Estudos mostraram que alguns adesivos universais necessitam de um tratamento de superfície prévio, como a aplicação de condicionamento ácido, para maximizar a sua eficácia. Segundo a revisão sistemática/meta-análise de Cuevas-Suarez et al 2019, a opção ideal para estabilidade de adesão à dentina a curto e longo prazo, é a escolha de AU suaves (com $\text{pH} > 2,5$), independentemente da estratégia (ER =SE), sendo que deverá ser efectuado um *pré-etching* ao esmalte.

A **interação química** dos AU com a estrutura dentinária é em grande parte impulsionada pela existência dos monómeros funcionais como o 10-MDP. Os grupos fosfato dos monómeros interagem quimicamente com o cálcio da hidroxiapatite. Ao condicionar-se a dentina, também se liberta cálcio, formando-se sais que se organizam em nanocamadas de aproximadamente 4nm (Yoshihara et al 2010, 2013, 2014).

Esta estrutura é estável ao longo do tempo, e é expectável que sejam os sais de 10-MDP-Ca na camada híbrida e adesiva, que melhoram a longevidade dos AU (van der Meerbeck 2020).

Carrilho et al. (2019), efectuou uma revisão sistemática para examinar a força de adesão e a estabilidade dos adesivos contendo 10-MDP, em comparação com outros monómeros funcionais. Concluíram que a incorporação do 10-MDP favorece uma adesão forte e estável, mas isso depende significativamente da técnica de aplicação. Eles recomendam um *pré-etching* do esmalte e uma fricção prolongada na dentina para maximizar a eficácia da adesão.

O 10-MDP não é o monómero funcional perfeito. Ele é sensível à degradação hidrolítica, e dado que os adesivos SE contêm água, isto pode comprometer a sua longevidade clínica (Mozner et al 2013). Zhang et al. (2016) avaliou a adesão a longo prazo de diferentes AU contendo 10-MDP, usados nos modos SE ou ER. Observaram que em todos os adesivos, exceto um (Scotchbond Universal™ – 3M) (AU –SE) houve diminuição da força de adesão com o tempo. Todos os AU (com e sem 10-MDP) mostram degradação dos filamentos de colágeno nas interfaces híbridas quando usados no modo de ER, sendo que os adesivos em modo SE, demonstram maior resistência ao envelhecimento. Este estudo

revela que os adesivos universais com 10-MDP não conseguem proteger eficazmente os filamentos de colágeno da degradação quando aplicados com estratégia SE.

O estudo de Yoshihara et al. (2011) recomenda a fricção do adesivo com 10-MDP por 20 segundos e o aumento de sua concentração para promover a formação de nanocamadas.

Os monómeros funcionais mais recentes e com resultados promissores são o MF8P (Kuraray Noritake)TM, o MF12P e o MF8/12P, sendo que estes dois últimos não são ainda comercializados pelo alto custo de produção (Yoshihara 2014).

A escolha da estratégia adesiva é fundamental na força de adesão dos AU. Não é uma conclusão que seja evidente em todos os estudos analisados.

Nos estudos de Takamizawa et al. (2015) e Yamauchi et al. (2019), a força de adesão dos AU foi semelhante nas estratégias ER e SE. A aplicação do AU em modo ER não pareceu ter um impacto negativo na adesão à dentina. O mesmo foi encontrado na meta-análise de Elkaffas et al. (2018), e na meta-análise de Triani F et al (2022). Segundo Tsujimoto A et al 2017 e Suda S 2018, apesar dos estudos *in vitro* indicarem que os valores de resistência à fadiga da adesão dos AU no modo ER, serem superiores ao modo SE, sobretudo por causa da adesão ao esmalte, isto não tem uma correspondência clínica. Provavelmente este facto permite atribuir à adesão à dentina um papel muito mais importante, do que lhe é actualmente atribuído.

No estudo de Munoz 2013, embora todos os AU testados compartilhem a mesma versatilidade na abordagens ER e SE, existem diferenças nas suas composições, o que parece ser a principal razão para o desempenho diferente desses materiais, quando comparados com os grupos de control (SE 6 geração – 2 frascos). Um exemplo disso é a existência do copolímero de ácido polialquenoico na composição de um dos AU testados, o que pode constituir um “competidor” para o MDP e a ligação ao cálcio, levando a uma menor aproximação do monómero durante a polimerização (Munoz, 2013). A composição do AU tem uma relação directa com o seu comportamento.

Chen et al. (2015) compararam o desempenho de cinco adesivos universais, notando diferenças significativas na força de adesão entre os adesivos, mas não entre as estratégias de adesão ER e SE para cada adesivo. Este estudo também sublinha a importância da formulação específica do adesivo no seu desempenho global.

Zhang et al. (2016) avaliaram a força de adesão dos AU a curto (24 horas) e a longo prazo (12 meses), observando que a estratégia SE é mais resistente à degradação do que a ER. Zhang et al. (2016) evidenciaram que os AU não conseguiram impedir completamente a degradação e a diminuição da força de adesão a longo prazo, destacando a necessidade de desenvolver materiais duráveis. Huseyin et al. (2022) corroboraram esta observação, destacando que, embora a estratégia SE oferecesse uma adesão inicial eficaz, a degradação a longo prazo continuava a ser um desafio significativo para os AU.

Estudos como os de Yamauchi et al. (2019) e Zhang et al. (2016) destacaram que, embora os AU apresentem um bom desempenho inicial, a sua eficácia a longo prazo pode ser comprometida.

Existem assim vários factores passíveis de interferirem na adesão dos AU à dentina. Segundo o estudo de Hardan et al. (2021), foram identificados como potenciadores da força de adesão, os seguintes factores: Aplicação prévia de inibidores das MMP (matriz metaloproteinases), tempo de aplicação prolongado, técnica de fricção do adesivo, condicionamento seletivo da dentina, aplicação de plasma não atmosférico, aplicação etanol (100%), tempo de secagem prolongado, aplicação de múltiplas camadas, tempo de fotopolimerização prolongado e aplicação extra de camada hidrofóbica.

Este último factor, leva ao aumento da espessura da camada híbrida formada pelos AU, o que parece favorecer a durabilidade da adesão, com aumento da hidrofobicidade e da polimerização (Peumans m et al 2005; Nunes et al 2005; Perdigão I et al 1996). O benefício clínico deste facto, é no entanto ainda muito incerto. A aplicação de camada extra hidrofóbica parece ser mais importante na estratégia SE do que na ER (Munoz, et al 2014).

O aumento do tempo de polimerização dos AU para 40 segundos, é também um factor de estabilidade pois garante um grau adequado de conversão em polímeros, tornando o adesivo menos propenso à absorção de água (Hardan et al. (2021)).

Diversos estudos sugeriram que duplicar o número de camadas adesivas melhora a resistência da adesão, aumentando a penetração dos monómeros na camada híbrida e aumentando as interações químicas (Chowdhury et al 2019; Ito 2005; Hardan 2021)

A secagem com jacto de ar deverá ser prolongada 15- 30 segundos para permitir a evaporação do solvente. Este facto é mais importante nos AU que contêm álcool relativamente aos de acetona (Saikaew et al 2019).

A aplicação de etanol 100% durante 1 minuto parece também potenciar a adesão dos AU à dentina, pois as fibras de colágeno são protegidas pelo etanol, observando-se maior longevidade da interface adesiva, criando uma ligação estável (Sauro et al, 2011). Não há no entanto muitos estudos que analisem a interferência desta factor.

Dada a relevância científica descrita até ao momento, foram estabelecidas várias **estratégias** para melhorar a adesão dos AU à dentina. Na pesquisa de Huseyin et al. (2022), a solução recomendada para otimizar a adesão à dentina envolve o uso de brocas de carboneto de tungsténio ou diamante grão extrafino para terminação do preparo dentário.

De acordo com Kharouf et al. (2019), a estratégia recomendada para uma melhor adesão envolve o uso de uma técnica adesiva ER, com a aplicação de ácido fosfórico a 37% por 3 segundos na dentina. Essa abordagem visa criar uma superfície dentinária parcialmente desmineralizada, favorecendo uma maior penetração dos monómeros do adesivo na dentina. Essa técnica otimizada leva a uma adesão durável e estável a longo prazo, melhorando assim a qualidade e a longevidade das restaurações dentárias.

Van Meerbeek et al. (2020) propôs o tratamento com plasma atmosférico não térmico (NTAP) para melhorar a molhabilidade da superfície dentinária, aumentando assim a penetração e a polimerização das resinas, embora não existam ainda evidências clínicas. A remineralização biomimética das camadas híbridas das resinas ER mostrou resultados promissores *in vitro*, embora sua aplicabilidade clínica ainda seja incerta. (Van Meerbeek et al, 2020)

A inibição da biodegradação enzimática, especialmente pelo uso de inibidores de metaloproteinases (MMPs) como a clorexidina, demonstrou retardar a degradação das interfaces adesivas, embora seus efeitos a longo prazo sejam limitados. A biomodificação da dentina pela reticulação do colágeno foi explorada para reforçar as propriedades biomecânicas da dentina e melhorar sua resistência à degradação enzimática. A conversão eficaz da polimerização dos adesivos foi destacada como essencial para minimizar a absorção de água e garantir uma interface adesiva durável. O selamento adicional com

resina hidrofóbica foi recomendado para proteger a interface adesiva da humidade e melhorar sua estabilidade a longo prazo. Por fim, o uso de monómeros funcionais com ligação iónica, como o 10-MDP, para formar nanocamadas estáveis com a hidroxiapatite, foi identificado como uma estratégia eficaz para reforçar ligações adesivas seletivas, especialmente em adesivos em modo SE. Essas estratégias ilustram diversas abordagens para otimizar a adesão de adesivos dentinários, embora algumas ainda exijam validação clínica aprofundada para adopção generalizada. (Van Meerbeek et al, 2020)

Pesquisas futuras devem focar-se na optimização das formulações dos AU, na melhoria das técnicas de preparação da dentina e na avaliação a longo prazo da durabilidade das ligações adesivas em diversas condições clínicas. A integração de novos materiais e tecnologias, como nanomateriais e agentes bioativos, pode também oferecer soluções promissoras para superar os desafios atuais na adesão dentinária, permitindo melhorar a sua eficácia clínica e durabilidade a longo prazo.

3. CONCLUSÃO

A pesquisa integrativa realizada nesta tese permitiu examinar em profundidade os diferentes fatores morfológicos, mecânicos e químicos que podem influenciar a adesão dos AU à dentina, bem como as técnicas modificadas para reforçar essa adesão. Ao longo desta investigação, foram identificadas várias nuances e considerações importantes que contribuem para o entendimento abrangente da interação entre os adesivos e a dentina.

É consensual que a adesão dos AU à dentina é um processo complexo influenciado por muitos fatores. A compreensão do impacto da *smear layer*, do pH, da preparação da superfície dentinária, das propriedades dos monómeros, das técnicas específicas de aplicação e da escolha do material adesivo é essencial para melhorar a eficácia clínica dos AU.

Estas abordagens destacam a importância de estratégias específicas, sendo que a ciência não permitiu ainda de forma evidente a criação de protocolos de adesão ideais. Para maximizar a eficácia dos adesivos dentários, há estudos diferentes que sugerem o uso de brocas de carboneto de tungstênio para preparação de uma superfície dentinária com uma *smear layer* menos compacta e mais permissível aos adesivos. Devem optar-se por AU com pH suave e com 10-MDP no seu conteúdo. A maioria dos estudos não evidenciou uma diferença na técnica de aplicação ER ou SE, pelo que há apenas a obrigatoriedade de aplicação de ácido ortofosfórico no esmalte, sendo que na dentina e de acordo com estudos *in vitro*, este deverá durar apenas 3 seg. O AU deve ser aplicado com vigor e esperar durante aproximadamente 20 seg para que o monómero funcional tenha tempo para a interação química, e terminado com um jacto de ar mais prolongado para que haja a evaporação do solvente. Aplicações extra de camadas de adesivo, ou camada extra de adesivo hidrofóbico, são aconselhadas por alguns autores, após resultados de estudos *in vitro*. Será necessário estudar no futuro a sua utilidade clínica. A composição e estrutura da dentina também desempenham um papel crucial na interação com os adesivos, assim como na técnica adesiva utilizada.

Em conclusão, esta tese destaca a importância de considerar uma abordagem integrada para maximizar a eficácia dos adesivos universais na medicina dentária. Ao entender os fatores que influenciam a adesão e aplicar técnicas modificadas adaptadas a cada caso clínico, é possível obter restaurações dentárias duráveis e de alta qualidade. Isso abre

ADESIVOS UNIVERSAIS: FACTORES QUE INTERFEREM NA ADESÃO À DENTINA-
REVISÃO INTEGRATIVA

caminho para novas pesquisas visando aperfeiçoar as formulações de adesivos e melhorar as práticas clínicas para o benefício dos pacientes.

BIBLIOGRAFIA

- Alex, G. *et al.* (2015). Universal adhesives: the next evolution in adhesive dentistry? *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 36(1)
- AlJehani YA, Baskaradoss JK, Geevarghese A, AlShehry MA, Vallittu PK. Shear Bond Strength between Fiber-Reinforced Composite and Veneering Resin Composites with Various Adhesive Resin Systems: Shear Strength of Prosthodontic Resins. *Journal of Prosthodontics*. 2016;25(5):392-401.
- Carrilho, E. *et al.* (2019). 10-MDP Based Dental Adhesives: Adhesive Interface Characterization and Adhesive Stability-A Systematic Review, *Materials*, 12(5), pp. 790.
- Chen, C. *et al.* (2015). Bonding of universal adhesives to dentin—old wine in new bottles? *Journal of Dentistry*, 43, 525-36.
- Chowdhury, A.F.M.A.; Saikaew, P.; Alam, A.; Sun, J.; Carvalho, R.M.; Sano, H. Effects of Double Application of Contemporary Self-Etch Adhesives on Their Bonding Performance to Dentin with Clinically Relevant Smear Layers. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2019, 21, 59–66
- Cuevas-Suárez, C. A. *et al.* (2019). Bonding Performance of Universal Adhesives: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis, *The Journal of Adhesive Dentistry*, 21(1), pp. 7-26.
- Elkaffas, A. *et al.* (2018). Do universal adhesives promote bonding to dentin ? A systematic review and meta-analysis. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 43(3), pp. 1-13.
- Fernandes Jr VVB, Oliani MG, Nogueira Jr L, Silva JMF, Araújo RM (2016) Analysis and Comparison of Different Bond Strength Tests. *JSM Dental Surgery* 4(5): 1076.
- Fukegawa D, Hayakawa S, Yoshida Y, Suzuki K, Osaka A, Van Meer-beek B. Chemical interaction of phosphoric acid ester with hydroxyapatite. *Journal of Dentistry Restoration* 2006,85,941-944.
- Hardan, L. *et al.* (2021). Bond Strength of Universal Adhesives to Dentin : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers*, 13(5), 814, pp 1-34.
- Huseyin, H. *et al.* (2022). Effect of Clinically Relevant Smear Layers and pH of Universal Adhesives on Dentin Bond Strength and Durability. *The Journal of Adhesive Dentistry*, pp. 87-94.
- Ito,S.;Tay,F.R.;Hashimoto,M.;Yoshiyama,M.;Saito,T.;Brackett,W.W.;Waller,J.L.;Pashley,D.H.Effectsofmultiplecoatingsof two all-in-one adhesives on dentin bonding. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2005, 7, 133–141.

Kharouf, N. *et al.* (2019). Effect of etching the coronal dentin with the rubbing technique on the microtensile bond strength of a universal adhesive system. *Dental Medical Problems Journal*.56(4), pp.343–348.

Migliau, G. *et al.* (2017). Classification review of dental adhesive systems: from the IV^o generation to the universal type. *Annali di Stomatologia (Roma)*.8(1)

Mine A, De Munck J, Cardoso MV, Van Landuyt KL, Poitevin A, Van Ende A, Matsumoto M, Yoshida Y, Kuboki T, Yatani H, Van Meerbeek B. Dentin-smear remains at self-etch adhesive interface. *Dental Materials* 2014; 30:1147-1153.

Moszner N, Angermann J, Fischer U, Bock T. Monomers for adhesive polymers, 9 - Synthesis, radical photopolymerization, and properties of (meth)acrylamido dihydrogen phosphates. *Macromolecular Materials and Engineering* 2013, 298, pp. 454-61

Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, Van Meerbeek B. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *Journal of Dentistry Restoration* 2005; 84:118-132.

Muñoz, M. A. *et al.* (2013). Immediate bonding properties of universal adhesives to dentine, *Journal of Dentistry*, 41, pp.404–411.

Munoz, M.A.; Sezinando, A.; Luque-Martinez, I.; Szesz, A.L.; Reis, A.; Loguercio, A.D.; Bombarda, N.H.; Perdigao, J. Influence of a hydrophobic resin coating on the bonding efficacy of three universal adhesives. *Journal of Dentistry* 2014, 42, 595–602.

Nunes, T.G.; Ceballos, L.; Osorio, R.; Toledano, M. Spatially resolved photopolymerization kinetics and oxygen inhibition in dental adhesives. *Biomaterials* 2005, 26, 1809–1817.

Perdigão, J.; Lambrechts, P.; Van Meerbeek, B.; Braem, M.; Yildiz, E.; Yucel, T.; Vanherle, G. The interaction of adhesive systems with human dentin. *American Journal of Dentistry*. 1996, 9, 167–173.

Perdigão, J. *et al.* (2020). Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations, *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), pp. 1-18.

Perdigão, J. and Swift, E. J. (2015). Universal Adhesives. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. Wiley-Blackwell, 27(6), pp. 331–334.

Peumans, M.; Kanumilli, P.; De Munck, J.; Van Landuyt, K.; Lambrechts, P.; Van Meerbeek, B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematic review of current clinical trials. *Dental Materials*. 2005, 21, 864–881.

Reis, A. *et al.* (2013). Overview of Clinical Alternatives to Minimize the Degradation of the Resin-dentin Bonds. *Operative Dentistry*, 38(4), pp. E103-E127

Saikaew, P.; Fu, J.; Chowdhury, A.F.M.A.M.A.; Carvalho, R.M.; Sano, H. Effect of air-blowing time and long-term storage on bond strength of universal adhesives to dentin. *Clinica. Oral Investigations* 2019, 23, 2629–2635.

Sauro, S.; Toledano, M.; Aguilera, F.S.; Mannocci, F.; Pashley, D.H.; Tay, F.R.; Watson, T.F.; Osorio, R. Resin–dentin bonds to EDTA-treated vs. acid-etched dentin using ethanol wet-bonding. Part II: Effects of mechanical cycling load on microtensile bond strengths. *Dental Materials*. 2011, 27, 563–572.

Scotti, N. *et al.* (2017). New adhesives and bonding techniques. Why and when?, *The International Journal of Esthetic Dentistry*, 12(4), pp. 2–13.

Shafiei, F. *et al.* (2019). Bond strength and adhesive interfacial micromorphology of self-adhesive resin cements : Effect of reduced times of pre-etching. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, pp. e984-e990.

Suda S, Tsujimoto A, Barkmeier WW, Nojiri K, Nagura Y, Takamizawa T *et al.* (2018) Comparison of enamel bond fatigue durability between universal adhesives and two-step self-etch adhesives: effect of phosphoric acid pre-etching. *Dental Materials J* 37, 244-255.

Takamizawa, T. *et al.* (2015). Influence of different etching modes on bond strength and fatigue strength to dentin using universal adhesive systems. *Dental Materials*.

Todd, J-C. Braziulis E. (2015). Scientific documentation of adhese universal. *Ivoclar Vivadent AG*

Triani F, Pereira da Silva L, Ferreira Lemos B, Domingues J, Teixeira L, Manarte-Monteiro P. (2022). Universal Adhesives: Evaluation of the Relationship between Bond Strength and Application Strategies A Systematic Review and Meta-Analyses. *Coatings*; 12(10):1501

Tsujimoto, A. *et al.* (2017). Interfacial Characteristics and Bond Durability of Universal Adhesive to Various Substrates, *Operative Dentistry*, 42(2), pp. e59-e70

Tsujimoto A, Barkmeier WW, Hosoya Y, Nojiri K, Nagura Y, Takamizawa T *et al.* (2017) Comparison of bond fatigue durability to enamel of universal adhesives and two-step self-etch adhesives in self-etch mode. *American Journal of Dentistry* 30, 279-284.

Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, Van Landuyt K, Lambrechts P, Vanherle G. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future chal-lenges. *Operative Dentistry* 2003;28:215-235.

Van Meerbeek, B. *et al.* (2010). State of the art of self-etch adhesives, *Dental Materials*. 27(1), pp. 17-28.

Van Meerbeek, B. *et al.* (2020). From Buonocore’s Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology, *The Journal of Adhesive Dentistry*, 22(1), pp. 7-34.

Yamauchi, K. *et al.* (2019). Etch-and-rinse vs self-etch mode for dentin bonding effectiveness of universal adhesives. *Journal of Oral Science*, 61(4), pp. 549–553.

Yoshihara K, Yoshida Y, Nagaoka N, Fukegawa D, Hayakawa S, Mine A, Nakamura M, Minagi S, Osaka A, Suzuki K, Van Meerbeek B. Nano-controlled molecular interaction at adhesive interfaces for hard tissue re-construction. *Acta Biomater* 2010;6:3573-3582.

Yoshihara K, Yoshida Y, Nagaoka N, Hayakawa S, Okihara T, De Munck , Maruo Y, Nishigawa G, Minagi S, Osaka A, Van Meerbeek B. Adhesive interfacial interaction affected by different carbon-chain monomers. *Dental Materials* 2013;29:888-897.

Yoshihara, K. *et al.* (2011). Nanolayering of phosphoric acid ester monomer on enamel and dentin, *Acta Biomateriali*. 7(8), pp. 3187-95.

Yoshihara K. Nano-molecular interaction at the adhesive interface with hydroxyapatite and tooth tissue. *KU Leuven BIOMAT PhD Dissertation* 2014.

Yoshihara K, Yoshida Y, Hayakawa S, Nagaoka N, Kamenoue S, Okihara T, Ogawa T, Nakamura M, Osaka A, Van Meerbeek B. Novel fluoro-carbon functional monomer for dental bonding. *J Dentistry Restorative* 2014;93:189-194.

Yoshihara, K. *et al.* (2015). Functional monomer impurity affects adhesive performance, *Dental Materials*. (12), pp. 1493-1501.

Yoshihara K, Hayakawa S, Nagaoka N, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Chemical interaction of a novel functional monomer with hydroxyapatite/dentin. Abstract presented at the 2017 IADR/AADR/CADR General Session at San Francisco, CA, *J Dentistry Restorative* 2017;96(Spec Iss A): 1713

Zhang, Z. *et al.* (2016). Defying ageing: An expectation for dentine bonding with universal adhesives? *Journal of Dentistry*, 45, pp. 43–52.

ANEXOS

Tabela 2- Exemplos de de adesivos universais e suas características. (Huseyin, H. *et al.* (2022) ; Perdigão, J. *et al.* (2020) ; Chen *et al.*, (2015))

ADESIVOS – marcas comerciais	MONÓMEROS FUNCIONAIS	pH	SOLVENTES
G-Premio Bond	10-MDP	1.5	Acetona, agua, alcool isopropilico
G-Premio Bond Plus	4-MET, Ester de acido fosforico	1.5	Acetona
Peak Universal Adhesive	HEMA	1.2- 2.0	Etanol, agua
Clearfil SE Bond	Primer : 10-MDP, HEMA Bond : 10-MDP, bis-GMA, HEMA	2.0	Etanol, agua
Universal Bond	MOEP, MTU-6	2.2	Agua, acetona
Futuabond U	10-MDP	2.3	Etanol, agua
Clearfil Universal Bond	10-MDP	2.3	Etanol, agua
OptiBond Universal	GPDM	2.5	Agua, acetona, etanol
Prime & Bond Active o Prime & Bond Universal	10-MDP, PENTA	2.5	Agua, alcool isopropilico
Prime & Bond Elect	PENTA	2.5	Agua, acetona
Scotchbond Universal Adhesive Plus	10-MDP, PAC	2.7	Etanol, agua
Scotchbond Universal Adhesive or Single Bond Universal Adhesive	10-MDP, PAC	2.7	Etanol, agua
Single Bond Universal	10-MDP, HEMA	2.7	Etanol, agua
Adhese Universal	10-MDP, MCAP	2.8	Etanol, agua
One Coat 7 Universal	10-MDP	2.8	Etanol, agua
All-Bond Universal	10-MDP, HEMA	3.1	Etanol, agua