

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

LINCOLN AURÉLIO FERREIRA REZENDE

**USO REPETIDO E ABERTURA PROLONGADA DE FRASCOS DE SISTEMAS
ADESIVOS:** efeitos na evaporação do solvente e resistência adesiva

São Luís

2020

LINCOLN AURÉLIO FERREIRA REZENDE

USO REPETIDO E ABERTURA PROLONGADA DE FRASCOS DE SISTEMAS

ADESIVOS: efeitos na evaporação do solvente e resistência adesiva

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Odontologia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Odontologia.

Orientadora: Profa. Ma. Ândria Milano San Martins

São Luís

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Centro Universitário – UNDB / Biblioteca

Rezende, Lincoln Aurélio Ferreira

Uso repetido e abertura prolongada de frascos de sistemas adesivos: efeitos na evaporação do solvente e resistência adesiva. / Lincoln Aurélio Ferreira Rezende. __ São Luís, 2020.

66f.

Orientador: Profa. Ma. Ândria Milano San Martins.

Monografia (Graduação em Odontologia) - Curso de Odontologia – Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB, 2020.

1. Adesivos dentinários. 3. Evaporação do solvente. 4. Resistência adesiva dental. 4. Odontologia restauradora. I. Título.

CDU 616.314-084.844

LINCOLN AURÉLIO FERREIRA REZENDE

USO REPETIDO E ABERTURA PROLONGADA DE FRASCOS DE SISTEMAS

ADESIVOS: efeitos na evaporação do solvente e resistência adesiva

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Odontologia do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Odontologia.

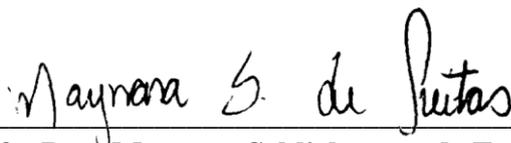
Orientadora: Profa. Ma. Ândria Milano San Martins

Aprovada em: 23/07/2020

BANCA EXAMINADORA



Profa. Ma. Ândria Milano San Martins (orientadora)
Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB



Profa. Dra. Maynara Schlickmann de Freitas
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC



Profa. Dra. Alana de Castro Pereira
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Dedico este trabalho aos meus pais, Lucy e
Venício, que me forneceram apoio
imensurável durante minha trajetória
acadêmica e amor incondicional durante toda
minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pela oportunidade de cursar o ensino superior e por iluminar minha caminhada mesmo nos momentos mais obscuros.

Aos meus pais Lucy e Venício e minha irmã Lorena, por todo o apoio durante a minha trajetória acadêmica, pelo investimento em minha educação e pelo amor incondicional durante toda a minha vida.

Aos meus familiares e amigos, por todo o apoio.

A João Lucas, por todo o apoio e motivação.

À Maria Luísa e Gerliane Abgail, por todo o apoio em tantos anos de amizade.

À Emmeenny, Natália e Rebeca, com quem divido minha trajetória na Odontologia até aqui; por todo apoio e amizade em todos esses anos de graduação.

Aos demais amigos e colegas do curso de Odontologia. Em especial Talita, Mônica, Savik, Aldaécio, João Oscar e os demais colegas da 1ª turma de Odontologia da UNDB.

Aos professores do curso de Odontologia, por exercerem a docência com excelência e compartilharem tantas lições, conhecimentos e ensinamentos valiosos.

À professora Ândria Milano, pela orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Às professoras Luciana Artioli, Cadidja do Carmo e Danielli Zucateli, por todo o apoio, incentivo e compreensão; e por serem grandes exemplos de profissionais.

Às professoras Tércia Falcão, Érica Valois, Ana Graziela Ribeiro e Karinne Travassos, por ensinarem com tanta paciência e dedicação a incrível disciplina de Endodontia.

Aos funcionários do curso e clínica escola de Odontologia, em especial Val, Ednólia, Deco, Silvia e Polly, por toda a ajuda e apoio durante os atendimentos clínicos.

À instituição e funcionários da UNDB, pela qualidade e excelência nos serviços prestados.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho e conclusão desta etapa.

“Por vezes, sentimos que aquilo que fazemos não é, senão, uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Os sistemas adesivos consistem em materiais de grande valor para a prática clínica da Odontologia. O solvente se apresenta como um elemento de extrema importância na sua constituição, sendo necessário respeitar suas características ao traçar e executar os protocolos operacionais. Entretanto, é de praxe da parte dos profissionais manter o frasco do adesivo aberto entre as aplicações, o que favorece a evaporação do solvente. Logo, o objetivo deste estudo é revisar, por meio da literatura científica, os efeitos do uso repetido e abertura prolongada dos frascos dos adesivos na evaporação do solvente e resistência adesiva; o que se mostra ser de grande relevância clínica e científica, pois permite compreender o processo de adesão sob diferentes situações. Foi realizado levantamento bibliográfico nos sites e bases de dados PubMed, Portal da BVS, MEDLINE, LILACS, BIREME e SciELO, tendo como critérios de inclusão os estudos *in vitro*, com adesivos comerciais, publicados em forma de artigo científico, nos idiomas português e inglês, nas últimas duas décadas (1999 a 2019). O uso repetido e a abertura prolongada dos frascos dos adesivos podem levar à perda de solvente por evaporação e resultar em redução da resistência adesiva ao substrato dentário. Adesivos à base de solventes orgânicos, especialmente a acetona, são os mais vulneráveis à exposição devido à sua alta capacidade volátil. Armazenar os adesivos sob refrigeração, utilizar a substância imediatamente após seu despejo e seguir as instruções do fabricante são medidas fundamentais para preservação da integridade da solução adesiva e obtenção de bons resultados clínicos.

Palavras- chave: Adesivos Dentinários. Evaporação. Solventes.

ABSTRACT

Dental adhesives are materials of great value for the Dentistry clinical practice. The solvent is an extremely important element in its constitution, so it's necessary to respect its characteristics when designing and executing the operational protocols. However, it is customary for professionals to keep the adhesive bottle open between applications, which favors solvent evaporation. Therefore, the aim of this study is to review, through the scientific literature, the effects of repeated use and prolonged opening of adhesive bottles on solvent evaporation and bond strength; which have great clinical and scientific relevance, once it allows to understand the bonding process under different situations. A bibliographic search was carried out on the websites and databases PubMed, Portal da BVS, MEDLINE, LILACS, BIREME and SciELO, having as inclusion criteria in vitro studies, with commercial adhesives, published as papers, in Portuguese and English, within the last two decades (1999 to 2019). Repeated use and prolonged opening of the adhesive bottles can lead to solvent loss through evaporation and result in reduced adhesive resistance to the dental substrate. Organic solvent-based adhesives, especially acetone, are the most vulnerable to exposure due to their high volatile capacity. Storing the adhesives under refrigeration, using the substance immediately after its dispense and following the manufacturer's instructions are fundamental measures for preserving the integrity of the adhesive solution and obtaining good clinical results.

Keywords: Dentin-Bonding Agents. Evaporation. Solvents.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Por cento
μL	Microlitros
10-MDP	<i>Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate</i>
BHT	<i>Butylhydroxytoluene</i>
Big-GMA	<i>Bisphenol A-glycidyl methacrylate</i>
CQ	<i>Camphorquinone</i>
h	Horas
HEMA	<i>2-Hydroxyethyl methacrylate</i>
LCNC	Lesões cervicais não-cariosas
MEHQ	<i>4-Methoxyphenol</i>
min	Minutos
mm	Milímetros
mm Hg	Milímetros de mercúrio
MMPs	Metaloproteinases
MPa	Mega Pascal
° C	Graus Celsius
OP	OptiBond SOLO
OS	One-Step
P&B	Prime & Bond 2.1
PENTA	<i>Dipentaerythritol penta acrylate monophosphate</i>
pH	Potencial hidrogeniônico
PPD	<i>1-phenyl-1,2 propanedione</i>
SB	Single Bond
UDMA	<i>Urethane dimethacrylate</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	METODOLOGIA	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	A evolução dos procedimentos adesivos	13
3.1.1	Mecanismos de adesão aos tecidos dentários	14
3.1.1.1	<i>Mecanismos de adesão ao esmalte</i>	15
3.1.1.2	<i>Mecanismos de adesão à dentina</i>	15
3.2	Caracterização dos sistemas adesivos	17
3.2.1	Tipos de sistemas adesivos	17
3.2.2	Composição	20
3.3	Fatores envolvidos no fracasso da técnica adesiva	21
3.4	Incorporação de solventes aos sistemas adesivos	22
3.5	O processo de evaporação do solvente	24
3.6	Efeitos da abertura e uso repetido do frasco do sistema adesivo	27
4	DISCUSSÃO	35
5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICE	49

1 INTRODUÇÃO

A odontologia restauradora foi marcada por numerosas modificações no decorrer dos anos. A criação dos materiais adesivos, que possibilitaram métodos restauradores cada vez menos invasivos, foi uma das mudanças fundamentais para o estabelecimento das melhores abordagens clínicas da dentística operatória contemporânea. O advento do condicionamento ácido e dos sistemas adesivos permite que os preparos ultraconservadores, com remoção apenas dos tecidos orgânicos lesionados, substituam os preparos cavitários profundos e extensos que caracterizavam o mais apropriado modo de restabelecimento da forma e função dos dentes humanos (GIANNINI *et al.*, 2015).

A simplificação dos procedimentos restauradores, mantendo as características e propriedades que consagraram as restaurações adesivas – como adesão e longevidade –, é pauta para diversos estudos a fim de descobrir meios de proporcionar qualidade de vida às pessoas ao mesmo tempo em que se diminui o tempo clínico e se evitam reações incômodas, como a sensibilidade pós-operatória. Os sistemas adesivos convencionais, consagrados pela literatura como “padrão ouro”, são caracterizados pela aplicação dividida em três etapas: na primeira, o condicionamento ácido do substrato com ácido fosfórico; na segunda, a aplicação do *primer*; e na terceira, a aplicação do adesivo propriamente dito. Devido aos inúmeros relatos de caso bem-sucedidos, este protocolo foi empregado como base para o desenvolvimento de novos sistemas, como o sistema adesivo autocondicionante, no qual reúne em apenas um frasco todas as etapas citadas (KOLINIOTOU-KOUMPIA *et al.*, 2014; GIANNINI *et al.*, 2015).

Os constituintes dos sistemas adesivos lhe proporcionam propriedades únicas que os tornam altamente eficientes quando aplicados apropriadamente, sendo os solventes (à base de etanol, água ou acetona) componentes de destaque. Eles desempenham importância crucial na adesão final, uma vez que auxiliam no deslocamento da água na superfície dentinária após o condicionamento ácido, permitindo a infiltração dos monômeros resinosos nas porosidades criadas e aumentando a interação físico-química com o substrato, produzindo uma camada híbrida mais adequada. Além disso, os solventes reduzem a viscosidade do adesivo, facilitando a penetração na rede de fibras colágenas e no selamento dos túbulos dentinários – o que, por sua vez, evita conduções hidráulicas, diminuindo a sensibilidade pós-operatória (CHIMELI *et al.*, 2014; SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2015; BERSEZIO *et al.*, 2017).

Entretanto, o solvente só se mostra eficaz na otimização da metodologia adesiva quando lhe é dado um período de tempo para evaporação. Caso contrário, a remoção insuficiente do solvente e da água afetará o processo de polimerização ao reduzir a força coesiva

da camada adesiva, facilitando a formação de espaços vazios, rachaduras e fraturas. Tais condições são determinantes nos processos de difusão de fluidos orais pelo adesivo, facilitando recidivas de cárie, manchamentos marginais e diminuição das propriedades mecânicas, além de favorecer a degradação química da matriz resinosa, comprometendo o sucesso da terapia restauradora (EMAMIEH *et al.*, 2014; SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2015; MARSIGLIO *et al.*, 2012).

Sendo o solvente um elemento de extrema importância na constituição dos sistemas adesivos, é necessário respeitar suas características ao traçar e executar os protocolos operacionais dos procedimentos adesivos. É proposto, apenas para o processo de volatilização, a aplicação de uma corrente de ar durante o tempo mínimo de 30 segundos sobre a camada do adesivo logo após a sua aplicação (BERSEZIO *et al.*, 2017). Entretanto, durante o atendimento clínico, é de praxe da parte dos profissionais manter o frasco do adesivo aberto entre uma aplicação e outra – o que favorece a evaporação do solvente, comprometendo as propriedades do agente antes mesmo de sua aplicação. Quando se trata dos sistemas adesivos autocondicionantes, cuja apresentação comercial resume em apenas um frasco todas as etapas do procedimento, tais circunstâncias se tornam ainda mais comprometedoras (WAMBIER *et al.*, 2014; GIANNINI *et al.*, 2015).

Com base nos fatos, a análise da influência que o uso repetido e a repetida abertura dos frascos exerce sobre o processo de volatilização do solvente se mostra ser de grande relevância clínica e científica, pois permite compreender o processo de adesão sob diferentes situações. Além disso, tal análise também aumenta o leque de informações disponíveis na literatura sobre o tema, contribuindo para o alcance de melhores resultados nos procedimentos clínicos executados (SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2015).

O objetivo geral deste trabalho é revisar, por meio da literatura científica, os efeitos do uso repetido e abertura prolongada dos frascos de sistemas adesivos na evaporação do solvente e resistência adesiva ao substrato dentário. Os objetivos específicos são: analisar a existência de aumento nas taxas de evaporação do solvente em função do uso repetido e abertura prolongada dos frascos de sistemas adesivos; analisar a existência do comprometimento da resistência adesiva em função do uso repetido e abertura prolongada dos frascos de sistemas adesivos; e analisar o comportamento de diferentes solventes diante do uso repetido e abertura prolongada dos frascos de sistemas adesivos. A seguinte hipótese foi testada: o uso repetido e abertura prolongada dos frascos de sistemas adesivos não exercem influência sobre a evaporação dos solventes e resistência adesiva ao substrato dentário.

2 METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma pesquisa de caráter descritivo com abordagem qualitativa. Os dados apresentados nesta revisão de literatura foram obtidos em artigos científicos, dissertações e teses previamente selecionados por meio de pesquisa eletrônica nos motores de busca PubMed, Portal da Biblioteca Virtual em Saúde e Google Acadêmico, nas bases de dados MEDLINE, LILACS, BIREME e SciELO, a partir da associação dos descritores Adesivos (*Adhesives*), Adesivos Dentários (*Dental Adhesives*), Adesivos Dentinários (*Dentin-Bonding Agents*), Adesão Dentária (*Dental bonding*), Evaporação (*Evaporation*), Volatilização (*Volatilization*), Infiltração Dentária (*Dental Leakage*) e Solventes (*Solvents*). Os estudos foram selecionados mediante análise da relevância clínica e científica, bem como sua relação com o tema deste estudo.

Especificamente para a revisão dos estudos sobre evaporação de solventes, foram considerados como critérios de inclusão os estudos *in vitro*, com sistemas adesivos comerciais em uso ou submetidos à simulação de uso ou à abertura dos frascos durante diferentes períodos ou à exposição da solução adesiva durante diferentes períodos, publicados em periódicos nacionais e internacionais em forma de artigo científico, nos idiomas português e inglês, dentro do período referente às últimas duas décadas (1999 a 2019). Foram excluídos os estudos que não atendessem a estes critérios. Após busca e leitura dos títulos e resumos, foram selecionados 45 (quarenta e cinco) artigos para leitura completa. Após esta, foram identificados um total de 13 (treze) estudos que atendiam aos critérios de inclusão estabelecidos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A evolução dos procedimentos adesivos

A evolução da odontologia restauradora é um fenômeno observado desde o início do século XX, no qual houve grande progresso no desenvolvimento de materiais e procedimentos restauradores. Estes se tornaram cada vez mais complexos e ricos em propriedades físicas e químicas, capazes de reabilitar as unidades dentárias de maneira mais eficiente e em poucas sessões. Em um estudo de revisão, Singh *et al.* (2017) citam como algumas das matérias-primas iniciais dos materiais restauradores o marfim e osso animal, que posteriormente foram substituídos ou associados a substâncias e materiais como o chumbo, ceras, estanho, pérola em pó, gomas, amálgama e ouro, até chegar aos compósitos resinosos de metilmetacrilato comumente utilizados na prática clínica da dentística restauradora na atualidade.

O desenvolvimento da odontologia adesiva iniciou em 1951 com os estudos de Hagger, um químico que buscava alcançar adesão da resina acrílica ao substrato dentário. Em 1955, Buonocore adaptou o uso industrial de ácido fosfórico – que aumentava a adesão de tintas às superfícies metálicas - aos substratos dentários. A diminuição da concentração do ácido de 85% (uso industrial) para 30% a 40% (uso odontológico) se mostrou muito eficaz na criação de irregularidades nos tecidos, aumentando a energia livre de superfície e a interação físico-química com as substâncias aplicadas. Com o passar dos anos, esta técnica foi consagrada como eficaz e segura, e serviu como base para a criação de novos materiais e protocolos clínicos. A dependência de preparos cavitários extensos e retentivos se tornou menos evidente diante da possibilidade de adesão micromecânica ao substrato, o que valorizou a confecção de preparos mais conservadores e centrados nos conceitos de forma de resistência e conveniência (HEYMANN; SWIFT JR.; RITTER, 2013; VAN MEERBEK *et al.*, 2020).

O surgimento de novos conceitos e filosofias na dentística operatória foi acompanhado de novas demandas por tratamentos com ênfase em fatores estéticos, considerando características ópticas, de cor e profundidade como fundamentais para o alcance de resultados satisfatórios. O objetivo das restaurações adesivas se tornou, então, alcançar o contato o mais íntimo possível entre o substrato e o material restaurador, de modo a estabelecer uma conexão duradoura e resistente aos diversos fatores aos quais a restauração estaria exposta. Forças mecânicas oriundas da mastigação, fluidos orais, e atividade bacteriana são alguns deles. Felizmente, a indústria de materiais odontológicos se adaptou muito bem a estas variáveis e,

com o advento de materiais cada vez mais bem formulados, as restaurações adesivas se tornaram a principal forma de reabilitação morfológica e funcional de elementos dentários parcialmente lesionados, com resultados satisfatórios e longínquos (SAKAGUCHI; POWERS, 2012; SEZINANDO, 2014).

Ástvaldsdóttir *et al.* (2015), por meio de uma revisão sistemática, avaliaram a durabilidade de restaurações com resinas compostas em dentes posteriores de adultos. Os autores observaram altas taxas de durabilidade em estudos com acompanhamento de 4 a 12 anos. Eles ainda ressaltam que procedimentos adesivos apresentam melhores resultados clínicos, o que se deve ao desenvolvimento de materiais mais bem formulados e ao melhor manuseio destes por parte dos cirurgiões-dentistas. Pallesen e Dijken (2015), em um estudo-controle randomizado de 30 anos, avaliaram a durabilidade de três compósitos resinosos diferentes utilizados em restaurações classe II. Reavaliações de acompanhamento foram realizadas após 2, 3, 5, 10, 15, 20 e 30 anos, nos quais se observou sucesso em 63% das restaurações.

Mesmo em protocolos alternativos, com a implementação de outros materiais e técnicas, os resultados são positivos. Shaalan, Abou-Auf e El-Zoghby (2017), através de uma revisão sistemática por meta-análise, avaliaram o desempenho clínico de restaurações com resinas compostas fluidas em comparação a resinas compostas convencionais em lesões cáries e não-cáries. Não foram identificadas diferenças clínicas ou estatísticas significativas entre ambos os materiais. As restaurações adesivas com resina composta fluida se apresentaram clinicamente aceitáveis, mesmo após 3 anos, exibindo eficácia clínica semelhante à utilização de resinas compostas convencionais.

3.1.1 Mecanismos de adesão aos tecidos dentários

O conceito de adesão, segundo a Sociedade Americana para Testes e Materiais, é “o estado no qual duas superfícies são mantidas juntas por forças interfaciais que podem consistir em forças covalentes ou forças de interpenetração mecânica, ou a interação de ambas”. Assim, a adesão acontece a partir do estabelecimento de um íntimo contato entre a camada adesiva e o substrato, que – no caso dos tratamentos restauradores na odontologia – consiste no esmalte e/ou dentina. Uma característica fundamental para o entendimento do procedimento restaurador com resinas compostas é a contração durante a polimerização dos compósitos resinosos à base de metacrilatos. A fim de resistir às forças de contração, o sistema adesivo precisa apresentar uma resistência de união inicial potente o suficiente para garantir união do

material ao substrato, contato entre as superfícies e transferência de cargas mecânicas através delas (ALLEN, 1993; HEYMANN; SWIFT JR.; RITTER, 2013).

3.1.1.1 Mecanismos de adesão ao esmalte

O esmalte dentário de mamíferos é caracterizado por duas unidades estruturais fundamentais: os prismas de esmalte e o esmalte inter-prismático, ambos formados por materiais orgânicos como a carbonatoapatita e hidroxiapatita. Estas formam cristais que, quando aglomerados, formam os prismas ou bastões que conferem aspecto liso ao tecido. O condicionamento ácido aplicado na superfície do esmalte a torna irregular, aumentando sua energia de superfície e possibilitando a penetração dos monômeros resinosos do sistema adesivo por capilaridade, permitindo a união dos materiais ao tecido por imbricamento mecânico após sua polimerização (HEYMANN; SWIFT JR.; RITTER, 2013).

Buonocore e Gwinnett (1968), em um estudo consagrado pela literatura, descreveram as vantagens do sistemas adesivos quando aplicados no esmalte previamente condicionado com ácido: aumento da adesão devido à porosidade da superfície, exposição do material orgânico que contribui para a adesão, criação de espaços entre as áreas inter-prismáticas nos quais os monômeros podem penetrar e incorporação de uma camada de grupos fosfatos altamente polares, que aumentam a molhabilidade da superfície e também contribuem para a adesão.

3.1.1.2 Mecanismos de adesão à dentina

A dentina, por sua vez, consiste em uma estrutura rígida, porém hidratada por água (aproximadamente 20%) e rica em material orgânico (aproximadamente 30–50%), como fibras de colágeno tipo I. A disposição dos túbulos dentinários, que conectam a junção amelodentinária ao órgão pulpar, é caracterizada pela presença de dentina hipermineralizada e hipomineralizada, intituladas dentinas peritubular e intertubular, respectivamente. As propriedades mecânicas do tecido e o sucesso do procedimento adesivo podem ser influenciados pela composição da dentina, que é determinada pelo nível de proximidade ao órgão pulpar (NANCI, 2013; BRESCHI *et al.*, 2018).

Heymann, Swift Jr. e Ritter (2013) descrevem o processo de adesão à dentina como mais complexo em comparação à adesão observada em esmalte. Com a realização do preparo, ocorre a formação da *smear layer* (lama dentinária) e dos *smear plugs*, responsáveis por

obliterar dos túbulos dentinários. Na presença destes, a permeabilidade da dentina é reduzida e a interação físicoquímica dos monômeros com o tecido pode ser comprometida. Diferentes explicações sobre como os materiais adesivos atuam no tecido dentinário são aceitos pela literatura científica, como o estabelecimento de ligações covalentes entre os monômeros policarboxílicos ou fosfatados e as fibras de colágeno, ligações iônicas com a hidroxiapatita e embricamento mecânico das redes poliméricas entre as fibras colágenas (KOLINIOTOU-KOUMPIA *et al.*, 2014).

Posto isto, é possível relacionar a complexidade do processo de adesão em dentina com a constituição do tecido. A quantidade considerável de fibras colágenas torna a dentina muito sujeita à alterações pelos fatores externos após a remoção do material inorgânico da superfície pelo condicionamento ácido: a secagem inadequada com jato de ar pode promover o colapso das fibras, isto é, o encolhimento e redução dos espaços interfibrilares; o colapso das fibras pode manter moléculas residuais de água presas no interior dos túbulos dentinários; o enxágue abundante pode promover o inchaço das fibras, reduzir os espaços interfibrilares e diluir os monômeros resinosos; a secagem exacerbada pode remover a água com a qual a substância adesiva interage; e todas estas condições interferem na interação físicoquímica com o sistema adesivo (IRMAK *et al.*, 2016).

A camada intermediária entre o substrato e o material restaurador é denominada “camada híbrida”. A hibridização, processo no qual os monômeros penetram a área desmineralizada do substrato, é um desafio para os cirurgiões-dentistas. Isto porque diversos fatores estão relacionados com a formação da camada híbrida ideal, desde a disposição dos constituintes do tecido dentinário às condições de umidade na superfície do tecido. Sabe-se que, para o mais adequado desempenho dos adesivos neste tecido, é necessário que um mínimo de umidade se faça presente, de modo que o solvente possa interagir com as partículas de água, removendo-as e permitindo a infiltração dos monômeros nos espaços previamente ocupados por elas (ARGOLO *et al.*, 2012).

Para tanto, métodos de secagem sobre o qual o operador tem mais controle – como a secagem com papel absorvente ou algodão – são mais indicados que métodos como a secagem com jato de ar, que é influenciado por fatores, como temperatura, pressão, tempo de secagem, etc. (BOSSARDI *et al.*, 2019). O estudo de Hegde e Manjunath (2011), no qual foi comparada a resistência de união à tração de restaurações com adesivos convencionais e autocondicionantes à base de etanol, água e terc-butanol em diferentes condições de umidade do substrato dentinário, observou-se que ambos os adesivos apresentaram melhor resistência de união em dentina úmida. A adesão em dentina, quando em condições mais secas, resultou em

menor resistência de união, o que indica a necessidade de substrato úmido para se alcançar bons resultados.

3.2 Caracterização dos sistemas adesivos

3.2.1 Tipos de sistemas adesivos

Os sistemas adesivos são regularmente classificados de acordo com suas gerações, que vão da primeira (1956) até a oitava (2010), sendo a composição o principal diferencial entre elas. Entretanto, na prática clínica, a classificação de acordo com a estratégia de condicionamento e número de passos clínicos para aplicação é a mais utilizada. Nesta, os sistemas adesivos são divididos em convencionais (dois ou três passos) e autocondicionantes (dois passos ou um passo) (SOFAN *et al.*, 2017).

Os sistemas adesivos convencionais de três passos, conhecidos na literatura como *etch-and-rinse* ou sistemas adesivos de condicionamento ácido prévio, apresentam-se em três frascos, sendo um para cada etapa clínica e componente essencial: (1) aplicação de ácido fosfórico para o condicionamento prévio dos tecidos (*etching*), (2) aplicação do *primer* (*priming*) e (3) aplicação do agente adesivo propriamente dito (*bonding*). A apresentação dos sistemas adesivos convencionais de dois passos, por sua vez, se dá em dois frascos: (1) ácido fosfórico para condicionamento ácido e (2) associação do *primer* e *bond* em um único frasco e solução (SOFAN *et al.*, 2017; AVELAR *et al.*, 2019).

Por fim, os adesivos autocondicionantes (*self-etch*) podem se apresentar em dois passos: (1) ácido e *primer* associados no mesmo frasco e (2) *bond*; ou em apenas um passo clínico e frasco, com agente condicionante ácido, *primer* e *bond* associados. Buscando aumentar as possibilidades de uso, foram formulados e lançados no mercado os intitulados sistemas adesivos universais (*multi-mode*). Estes apresentam caráter mais versátil que as demais apresentações por se adequarem à diferentes técnicas: convencional, autocondicionante ou condicionamento seletivo (apenas em esmalte) (HEGDE; MANJUNATH, 2011; SOFAN *et al.*, 2017; AVELAR *et al.*, 2019).

À vista disso, é notável os esforços por parte da indústria em fornecer materiais mais complexos em sua formulação, mas que simplifiquem os procedimentos clínicos ao diminuir o número de etapas, o tempo de aplicação e a sensibilidade na execução da técnica – ainda priorizando as três etapas consagradas como essenciais para o sucesso das restaurações

adesivas: *etching*, *priming* e *bonding* (HANABUSA *et al.*, 2012; HEYMANN; SWIFT JR.; RITTER, 2013; SOFAN *et al.*, 2017).

Wilder Júnior *et al.* (2009) avaliaram, em um estudo clínico de 12 anos, a eficácia dos sistemas adesivos de 3 passos em lesões cervicais não-cariosas (LCNC), realizadas com condicionamento ácido seletivo em esmalte (grupo A) e em esmalte e dentina (grupo B). Após 12 anos, 93% das restaurações do grupo A e 84% das restaurações do grupo B apresentaram-se preservadas. Os autores concluíram que cerca 90% das restaurações estavam preservadas e clinicamente adequadas.

Os adesivos autocondicionantes têm como principal característica a possibilidade de simplificar o procedimento adesivo. O uso de apenas um frasco durante a sua aplicação diminui em quantidade considerável o tempo clínico necessário para realização do procedimento, além de prover uma técnica mais suave, menos sensível e reduzir a sensibilidade pós-operatória. Eles consistem em uma solução com monômeros ácidos funcionais, monômeros hidrofílicos e hidrofóbicos, iniciadores, água e solvente - como acetona, etanol e água (GREGÓRIE *et al.*, 2011; VAN MEERBEK *et al.*, 2020).

A classificação é feita de acordo com o nível de acidez: forte ($\text{pH} \leq 1$), intermediário ($\text{pH} = 1.5$) e suave ($\text{pH} \geq 2$). Usualmente, o pH da solução é mais alto que o do ácido fosfórico empregado na técnica convencional. O potencial desmineralizador da dentina é menor nos adesivos suaves, que visam desmineralizar superficialmente o tecido. A água presente na solução é indispensável e tem como função possibilitar a ionização e ação dos monômeros, enquanto os solventes orgânicos são adicionados para melhorar a mistura entre os monômeros (GREGÓRIE *et al.*, 2011; SOFAN *et al.*, 2017).

O processo autocondicionante do tecido dentinário ocorre concomitantemente à infiltração dos monômeros, reduzindo a diferença e preservando a estrutura – sendo este um ponto de grande destaque do sistema. Contudo, a formulação complexa do adesivo autocondicionante tornou a solução mais hidrofílica – o que afeta diretamente a camada híbrida formada, uma vez que esta fica mais suscetível à sorção de água, podendo prejudicar o selamento, a adesão e o sucesso da restauração. A permanência da *smear layer* também é um fator bastante discutido na literatura, visto que pode comprometer a infiltração dos monômeros resinosos e influenciar na integridade da camada híbrida (CHIMELI *et al.*, 2014; GIANNINI *et al.*, 2015).

Ermis *et al.* (2009) avaliaram, em um estudo clínico de 2 anos, a eficácia dos adesivos convencionais e autocondicionantes de 2 passos. Quanto à retenção, 94% do adesivo convencional e 100% do adesivo autocondicionante foram mantidas. Quanto à adaptação,

descoloração e adequação marginais e forma anatômica, todas as restaurações apresentaram alterações insignificantes e clinicamente aceitáveis. Os autores concluíram que não houveram diferenças significativas nos resultados clínicos das duas apresentações do adesivo de 2 passos, sendo ambos altamente satisfatórios.

Em relação à adesão em esmalte, a literatura mostra que os adesivos autocondicionantes ainda não superaram os resultados proporcionados pelos adesivos convencionais. Erickson, Barkmeier e Latta (2009) avaliaram a influência que o nível de condicionamento ácido do substrato e a infiltração monomérica possuem na resistência de união ao esmalte dentário, por meio de comparações entre três adesivos autocondicionantes e um convencional. Todos os três adesivos autocondicionantes se mostraram estatisticamente menos eficazes que os adesivos convencionais, o que indica que – apesar de proporcionar adesão química – os primeiros não proporcionam no aumento da resistência de união em esmalte em comparação aos adesivos usados com o condicionamento ácido prévio.

Em dentina, porém, os resultados são diferentes. Valizadeh *et al.* (2019) compararam a resistência de união à microtração de sistemas adesivos convencionais e autocondicionantes em dentina. Os autores observaram que o sistema adesivo autocondicionante universal, aplicado à dentina sem condicionamento ácido prévio, apresentou os maiores valores de resistência adesiva. Eles destacam ainda que a remoção do cálcio (presente na hidroxiapatita) durante o condicionamento ácido prévio pode impedir adesão química através de ligações iônicas entre ele e os grupos fosfatos ou carboxílicos presentes no adesivo, diminuindo a capacidade adesiva do adesivo à dentina.

Os sistemas adesivos universais se apresentam como uma evolução dos sistemas adesivos autocondicionantes. A possibilidade de serem utilizados pelas diferentes técnicas de condicionamento ácido (autocondicionante, total ou seletivo) os tornam uma opção mais versátil na rotina clínica. Somado a isto, existe a possibilidade de utilização tanto na reabilitação de elementos por meio de restaurações diretas e indiretas. Para tanto, algumas diferenças em relação aos adesivos autocondicionantes são observadas: a presença do monômero *methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate* (10-MDP), que promove adesão iônica ao cálcio presente na hidroxiapatita devido ao grupo hidrofílico em sua molécula; a presença de silano, que facilita a adesão a materiais de cerâmica e vidro; e a presença de outros monômeros menos ácidos que os adesivos precursores e co-polímeros, como o ácido polialquênico Vitrebond, que também facilitam a adesão (BURKE *et al.*, 2017; PAPADOGIANNIS *et al.*, 2019).

Chen *et al.* (2015) avaliaram o comportamento a curto prazo de cinco adesivos universais diferentes em dentina humana, aplicados com as técnicas de condicionamento ácido

prévio e autocondicionante. Os autores concluíram que os adesivos universais, em comparação com os adesivos de outras gerações, não apresentaram resultados tão diferentes na dentina humana, independente da técnica de condicionamento ácido. Os autores também ressaltam que a versatilidade do produto não é acompanhada por avanços tecnológicos que superem os desafios associados aos outros sistemas quanto à adesão em dentina, como a inibição da adesão bacteriana na superfície, eliminação da água remanescente ou inibição da degradação das fibras colágenas do tecido.

Rosa, Piva e Silva (2015), através de uma revisão sistemática por meta-análise, verificou qual estratégia de condicionamento consiste no melhor protocolo clínico para os adesivos universais: condicionamento prévio total ou autocondicionante. Os autores observaram que o aumento na resistência de união é alcançado com condicionamento ácido seletivo apenas em esmalte. Em relação à dentina, apenas quando são utilizados adesivos autocondicionantes extra suaves (com pH e potencial desmineralizador reduzidos) o condicionamento ácido prévio melhora a resistência de união. Sendo assim, o protocolo mais indicado é o condicionamento ácido seletivo apenas em esmalte; e em dentina apenas no uso de adesivos autocondicionantes suaves.

3.2.2 Composição

O comportamento e os resultados obtidos com a aplicação dos sistemas adesivos também estão diretamente relacionados à sua composição. Em suma, os ingredientes das soluções adesivas estão sujeitos a poucas variações dependendo da classe e do número de passos clínicos. Os monômeros, por exemplo, consistem nos componentes mais importantes, pois são os responsáveis por ocuparem os sítios previamente ocupados pelo material inorgânico do tecido e estabelecerem o principal mecanismo de adesão ao substrato, que é a retenção micromecânica. Além disso, características individuais dos monômeros contribuem para o comportamento da camada adesiva como um todo: enquanto o *2-hydroxyethyl methacrylate* (HEMA) é capaz de melhorar a interação com o substrato úmido devido ao seu caráter hidrofílico, o *bisphenol A-glycidyl methacrylate* (Bis-GMA) promove uma melhor e mais rápida polimerização devido seu alto peso molecular (VAN LANDUYT *et al.*, 2007; GIANINNI *et al.*, 2015).

Outros componentes também fundamentais para a formação da camada híbrida são os fotoiniciadores e iniciadores químicos, como a *camphorquinone* (CQ) e *1-phenyl-1,2-propanedione* (PPD), que promovem o processo de polimerização dos monômeros; os

inibidores, responsáveis por impedir a polimerização e formação de radicais livres prematuros (como o *butylhydroxytoluene* - BHT e *4-methoxyphenol* - MEHQ); e as partículas de carga, presentes nos compósitos resinosos e adicionados aos sistemas adesivos com a premissa de melhorar as propriedades mecânicas da interface adesiva (VAN LANDUYT *et al.*, 2007; SEZINANDO, 2014).

Componentes como *dipentaerythritol penta acrylate monophosphate* (PENTA) e *urethane dimethacrylate* (UDMA) também são citados na literatura e considerados importantes no processo de estabilização da solução e interação química com o substrato e o material restaurador (VAN LANDUYT *et al.*, 2007; CHIMELI *et al.*, 2014). Os solventes também compõem os sistemas adesivos e são essenciais para o sucesso da técnica adesiva, mas por serem o foco deste estudo serão abordados individualmente no item 3.4.

3.3 Fatores envolvidos no fracasso da técnica adesiva

Exposto o comportamento e as características dos ingredientes dos sistemas adesivos, é cabível destacar os principais fatores responsáveis pelo fracasso da técnica. A degradação resinosa, geralmente associada à hidrólise do adesivo infiltrado e/ou à degradação das fibras colágenas, é um dos que desperta maior preocupação entre os pesquisadores. Basicamente, a água presente na interface adesiva é responsável por quebrar as ligações químicas responsáveis pelas propriedades micromecânicas tão importantes no processo de adesão. A permanência de água na interface adesiva antes da polimerização, atribuída ao excesso remanescente após o enxágue da superfície condicionada ou pela atuação inadequada do solvente, promove o aumento da permeabilidade da camada adesiva e conseqüentemente a entrada de mais partículas de água e enzimas provenientes da saliva - que também contribui para a degradação resinosa. Conseqüentemente, esta condição favorece a descoloração e comprometimento do selamento marginal, predispondo à microinfiltração (BRESCHI *et al.*, 2018).

A degradação das fibras colágenas é outro fator muito influente no fracasso da técnica adesiva. Sabe-se que a degradação das fibras colágenas presentes no tecido dentinário pode acontecer mesmo na ausência de microrganismos, o que indica a existência de proteases (enzimas responsáveis pela degradação de proteínas) atuantes no tecido. As metaloproteinases (MMPs) são proteases consideradas importantes durante a maturação dentinária, que - após a mineralização do tecido - permanecem confinadas e inativas. Entretanto, durante os procedimentos adesivos e aplicação de substâncias com pH ácido, as MMPs se tornam expostas

e capazes de retomarem sua atividade proteolítica. Ambos os condicionamentos ácidos prévio e autocondicionante parecem promover a atividade proteolítica, o que incentivou diversos autores a adotarem pré-tratamentos cavitários com a finalidade de diminuir a atividade de proteases como a MMPs. Entretanto, ainda não há evidências da eficácia deste tipo de protocolo (GÖSTEMEYER; SCHWENDICKE, 2016; BRESCHI *et al.*, 2018).

Outra grande preocupação relacionada aos sistemas adesivos é o processo de separação de fases. Devido à diferença na densidade dos componentes da solução adesiva, uma mistura ou ligação homogênea entre eles se mostra inviável. Desta forma, os líquidos podem se manter separados em diferentes camadas dentro do mesmo frasco, o que consiste na separação de fases. Condutas simples, como manter o frasco parado por cerca de 1 a 2 horas, podem levar a esta condição. A evaporação do solvente também é um fator altamente contribuinte, pois é o responsável por diluir todos os componentes da solução. Uma vez que o solvente evapora, o equilíbrio entre solvente/monômeros é perdido e se inicia o processo de separação, na qual a água se dissocia dos demais componentes. Sendo assim, a evaporação prematura do solvente pode constituir em um grande fator para a perda da eficácia do sistema adesivo e comprometimento da resistência adesiva (VAN LANDUYT *et al.*, 2005; SHAFIEI; MEMARPOUR, 2009).

Uma vez afetada por algum destes fatores, a integridade da camada adesiva pode ser perdida e toda a restauração pode ser comprometida. Clinicamente, o fracasso da técnica adesiva pode ser observado na presença de cárie secundária, que representa um novo processo cariioso se desenvolvendo entre o substrato e a restauração; desadaptação e manchamento marginal; perda total da adesão e descolamento do material restaurador, expondo a cavidade ao meio bucal; dentre outros. Todos esses achados clínicos podem ser considerados critérios para troca das restaurações, entretanto avaliações complementares são necessárias para confirmação, pois diversos fatores além dos citados podem estar associados à perda da adesão. Logo, uma investigação minuciosa precisa ser estabelecida a fim de extinguir todos os fatores envolvidos, de modo que uma nova restauração também não seja comprometida por eles (BLUM, 2019).

3.4 Incorporação de solventes aos sistemas adesivos

Os solventes são agentes comumente incorporados na manufatura de diferentes materiais, em diversas indústrias. Os adesivos, formados a partir da associação de monômeros e polímeros criteriosamente escolhidos, são alguns deles. De modo geral, o estabelecimento da adesão às superfícies por ligações químicas e/ou mecânicas é otimizado pela presença do

solvente, que é inserido na fórmula buscando também aprimorar a solubilidade da solução, reduzir a sua viscosidade, aumentar a mobilidade molecular e potencializar a formação dos polímeros. Os sistemas adesivos de uso odontológico seguem a mesma risca, agregando solventes adequados para o substrato dentário e que apresente evaporação rápida e comportamento hostil quando em contato com o ambiente externo ao frasco de armazenamento (CADENARO *et al.*, 2009; WYPYCH, 2019).

A incorporação dos solventes aos sistemas adesivos geralmente é feita no *primer*, solução rica em partículas hidrofílicas e responsável por preparar a superfície para receber os monômeros hidrofóbicos do adesivo propriamente dito. Os solventes de escolha mais comuns para esta função são os orgânicos: acetona, etanol e água ou essencialmente água, os quais ocupam de 8 a 49% da solução (CADENARO *et al.*, 2009). Além destes, também existem no mercado sistemas adesivos com solventes alternativos, como o terc-butanol, que buscam melhorar a hibridização da dentina em condições úmidas (BOSSARDI *et al.*, 2019). Os diferentes tipos de solventes utilizados conferem diferentes padrões de infiltração, secagem e evaporação aos sistemas adesivos, cabendo ao profissional conhecer suas características para assegurar a mais adequada utilização (SAKAGUCHI; POWERS, 2012).

Quando em contato com os tecidos dentários, o solvente exerce funções imprescindíveis para o sucesso da restauração adesiva. O deslocamento da água inerente ao tecido dentinário e do excesso de água oriunda do enxágue da superfície após o condicionamento ácido é uma das funções primordiais. Removendo a água, o solvente permite que os monômeros resinosos se infiltrem entre os espaços interfibrilares da matriz colágena da dentina e ocupem as zonas previamente ocupadas pela água, possibilitando a futura retenção micromecânica a ser estabelecida com a conversão dos monômeros em polímeros (HEYMANN; SWIFT JR.; RITTER, 2013; IRMAK *et al.*, 2016; VAN MEERBEK *et al.*, 2020). O aprimoramento desta conversão também é função do solvente, cuja evaporação promove redução da distância entre os monômeros e formação de redes poliméricas mais firmemente estabelecidas. Além disso, a adequada infiltração monomérica promove a obliteração dos túbulos dentinários e conseqüente redução de movimentação de fluidos no seus interiores, diminuindo a incidência de sensibilidade pós-operatória (ARGOLO *et al.*, 2012; BERSEZIO *et al.*, 2017).

A reexpansão dos espaços interfibrilares criados com o condicionamento ácido da dentina, que podem se encontrar reduzidos após o encolhimento das fibras colágenas causado pela secagem com jato de ar, também é atribuído ao solvente. Os solventes mais capacitados para tal são aqueles com maior característica hidrofílica, como o etanol e a própria água, que

quebram as ligações estabilizadoras de hidrogênio responsáveis por manter as fibras encolhidas. Por outro lado, solventes menos hidrofílicos, como a acetona, são menos eficientes em promover a reexpansão do colágeno encolhido devido à baixa capacidade em estabelecer ou mesmo quebrar ligações de hidrogênio (MARSIGLIO *et al.*, 2012; IRMAK *et al.*, 2016).

3.5 O processo de evaporação do solvente

A evaporação do solvente ocorre quando há a separação dos componentes da solução adesiva, isto é, do solvente e do soluto. A partir do processo de ebulição, no qual o solvente passa do estado líquido para o estado gasoso, ocorre a dissociação e evaporação das moléculas do solvente. A principal referência para este processo é a pressão de vapor, que consiste na pressão exercida pelas moléculas do solvente em estado gasoso e que determina proporcionalmente a volatilidade da substância (quanto maior a pressão, mais volátil é o solvente) (AKTERIAN, 2020). Nos sistemas adesivos dentários, a volatilidade da substância é de grande importância para o manejo do produto, pois permite entender como cada solvente funciona em diferentes condições do substrato dentário e situações clínicas. É importante elucidar que a plena realização de todas as funções citadas está diretamente relacionada à adequada evaporação do solvente (ARGOLO *et al.*, 2012).

A água e o etanol possuem pressão de vapor igual a 17,5 e 43,9mm Hg, respectivamente, enquanto a acetona possui pressão de vapor igual a 184 mm Hg, todos a 20° C. O terc-butanol, solvente alternativo e ainda pouco estudado e abordado na literatura científica, possui pressão de vapor próxima à da água: 26mm Hg (HOWANNAPHAKORN *et al.*, 2006; BOSSARDI *et al.*, 2019). Em relação à temperatura de ebulição, a acetona apresenta o menor valor em comparação com o etanol e a água: 56,6°C, 78,3°C e 100°C, respectivamente (LIMA *et al.*, 2005). Posto isto, é possível inferir que a acetona é o solvente mais volátil dentre os citados, seja pela evaporação espontânea ou pelo aumento da temperatura.

Diante disso, é evidente que a evaporação insuficiente do solvente pode causar grandes prejuízos à integridade da interface adesiva. Grande quantidade de solvente residual interfere nos processos de conversão polimérica, inibindo a polimerização em pontos localizados nos quais se formam porosidades e fendas que predisõem a camada híbrida à infiltração, sorção de água e difusão de fluidos pelo adesivo (ITOH *et al.*, 2010; WAMBIER *et al.*, 2014).

A preocupação com o solvente residual se relaciona não apenas com o espessamento e qualidade da camada híbrida, mas também com o apropriado selamento dos

túbulos dentinários que é alcançado com a formação de polímeros de alto peso molecular, o que pode não acontecer na presença de vastas quantias de solvente (CHIMELI *et al.*, 2014; KOLINIOTOU-KOUMPIA *et al.*, 2014; BERSEZIO *et al.*, 2017). A não evaporação da água atrelada ao solvente também contribui para danos irreversíveis na camada híbrida, pois viabiliza a sua degradação hidrolítica, que consiste em reações químicas responsáveis por quebrar ligações covalentes existentes entre os polímeros e degradar as fibras colágenas (BRESCHI *et al.*, 2018).

Afim de se alcançar adequados níveis de evaporação do solvente, é necessário entender a relação existente entre ele e umidade da superfície dentinária. Diferentes tipos de solventes requerem condições de umidade diferentes para executar adequadamente suas funções, isto porque diversas características e capacidades químicas do solvente estão envolvidas no processo. Pressão de vapor, ponto de ebulição, constante dielétrica, momento dipolar e capacidade em estabelecer ligações de hidrogênio são algumas delas (IRMAK *et al.*, 2016).

Ao ser aplicado em superfície dentinária úmida, os solventes (especialmente aqueles de caráter mais hidrofílico, como o etanol) podem encontrar facilidade em interagir e remover as partículas de água. Em contrapartida, quando aplicados em dentina excessivamente molhada, solventes como a acetona - que possuem alta pressão de vapor e são incapazes de realizar ligações de hidrogênio - não se comportam bem por não interagirem facilmente com a água, deixando muitas moléculas residuais na camada híbrida. Além disso, o excesso de água no substrato pode diluir o material adesivo, tornando a camada adesiva mais permeável. Substratos muito secos podem apresentar redução dos espaços interfibrilares da matriz colágena, especialmente quando a secagem for realizada com jato de ar. Esta condição também pode ser observada em dentina excessivamente molhada, uma vez que o excesso de água incha as fibras colágenas e diminui os espaços existente entre elas (MÜNCHOW *et al.*, 2014; BOSSARDI *et al.*, 2019).

Em relação à utilização do jato de ar para secagem da dentina condicionada e evaporação dos solventes, diversas variáveis podem influenciar a evaporação do solvente, como distância do emissor do jato de ar, tempo de secagem, pressão e temperatura (BOSSARDI *et al.*, 2019). Estudos *in vitro* mostram a influência da temperatura da corrente de ar na força de união à dentina, nos quais o aumento da temperatura promove maior evaporação do solvente e conseqüentemente maior força de união à dentina em solventes, especialmente aqueles à base de acetona e água/etanol (KLEIN-JÚNIOR *et al.*, 2008; MARSIGLIO *et al.*, 2012).

Entretanto, as variáveis citadas são de difícil controle e padronização, logo, não caracterizam a técnica mais indicada. A técnica do *blot-drying* - que consiste no uso de bolinha de algodão ou papel absorvente remoção de excessos de água – fornece melhor controle da umidade e impede o colapso da matriz colágena, além de tornar mais viável alcançar uma dentina adequadamente úmida, maior força de adesão ao substrato e melhores propriedades mecânicas (IRMAK *et al.*, 2016).

Bossardi *et al.* (2019) avaliaram a resistência de união à microtração de adesivos de frasco único com diferentes solventes e em diferentes condições de umidade dentinária. O adesivo à base de etanol/água mostrou os melhores resultados, o que pode ser associado à presença de água e a maior afinidade com o hidrogênio. Isto favorece a sua infiltração entre as moléculas de água e a remoção destas por evaporação da camada híbrida, além de adequar melhor a substrator com maior quantidade de água que o indicado. O adesivo cujo solvente era o terc-butanol também apresentou resultados satisfatórios em dentina úmida e muito molhada, devido à volatilidade e capacidade hidrofílica similar à da água. O adesivo à base de acetona, entretanto, apresentou melhores resultados em dentina seca, pois sua alta volatilidade interfere na capacidade do solvente se ligar às partículas da água e promover a sua adequada evaporação (BOSSARDI *et al.*, 2019).

Outros fatores, como temperatura, tempo de aplicação e pressão do jato de ar também podem influenciar o processo de evaporação do solvente. Marsiglio *et al.* (2012) e Moura *et al.* (2014) avaliaram a influência do aumento da temperatura do jato de ar (aplicado para evaporação do solvente) na resistência de união à tração. Em ambos os estudos foram utilizados adesivos à base de etanol/água, acetona e água. O estudo de Marsiglio *et al.* (2012) mostrou que, a 38 °C, apenas o adesivo à base de água foi influenciado pelo aumento da temperatura, gerando maiores valores no teste de resistência. O estudo de Moura *et al.* (2014), por sua vez, mostrou que sob temperaturas ainda maiores (60 °C), todos os adesivos foram influenciados, apresentando maiores valores de resistência e menor nível de nanoinfiltração na interface adesiva.

O estudo de Fu *et al.* (2012) avaliou os efeitos de diferentes durações do jato de ar sob a mesma pressão (0,25 MPa) na resistência de união à microtração. Foram utilizados três adesivos autocondicionantes à base de etanol, acetona e água/etanol, que receberam jatos de ar por 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 segundos. Os autores observaram que os tempos intermediários de aplicação (15, 20 e 25 s) apresentaram os maiores valores no teste de resistência. Desta forma, os autores concluíram que períodos muito curtos e muito longos de aplicação de jato de

ar para remoção do solvente podem ser prejudiciais, sendo um meio termo de 15 a 30 segundos o suficiente para se alcançar os melhores resultados.

3.6 Efeitos do uso repetido e abertura prolongada dos frascos de sistemas adesivos

Perdigão, Swift Jr. e Lopes (1999) avaliaram os efeitos do uso repetido de 4 sistemas adesivos na resistência de união ao cisalhamento. Foram utilizados os sistemas adesivos One-Step (OS; Bisco Dental), OptiBond SOLO (OP; Kerr/Sybron), Single Bond (SB; 3M), Syntac Single-Component (SY; Ivoclar/Vivadent); que tiveram seu uso simulado através da abertura do frasco por 1 minuto, 2 vezes ao dia, durante 3 semanas (com exceção dos finais de semana, no qual o adesivo foi mantido aberto e refrigerado).

Os resultados mostraram diferenças significativas de resistência de união ao cisalhamento ainda no grupo-controle: OS (acetona), SB (etanol e água) e OP (etanol) apresentaram valores maiores que SY (água). Após as 3 semanas de simulação de uso repetido, os adesivos apresentaram valores de resistência de união ao cisalhamento similares aos do grupo-controle, com exceção do OS que apresentou valores significativamente menores. Dentre todos, o adesivo SB apresentou maior resistência de união. Os autores concluíram que concentração de solventes orgânicos varia entre os adesivos e que, após 3 semanas, o uso repetido diminui a quantidade de solvente do adesivo, especialmente quanto o solvente em questão é a acetona – a mais volátil dentre as substâncias estudadas. Esta situação leva à diminuição da capacidade reativa do solvente no substrato dentinário úmido.

Abate, Rodriguez e Macchi (2000) compararam a evaporação de solventes presentes em diferentes sistemas adesivos de um passo durante o armazenamento sob condições controladas. Onze produtos foram utilizados, sendo eles: adesivos autocondicionantes de um passo (Prime and Bond 2.1, Dentsply; Single Bond, 3M; PrimaBond 97', BJM; Syntac Sprint, Vivadent; Optibond Solo, Kerr; Syntac Single Component, Vivadent), primers de sistemas adesivos convencionais (PermaQuick Primer, Ultradent; Scotchbond Multipurpose Primer, 3M) e soluções puras de acetona, água e etanol 96%. Cerca de 1 ml de cada solução foi despejada sobre placas de vidro, que foram armazenadas e pesadas antes e após 1, 7, 14, 21, 28, 60 e 75 dias de armazenamento.

As maiores porcentagens de perda ocorreram na acetona pura, seguida pelos adesivos à base acetona e à base de acetona associada a outra substância. Após 1 dia de armazenamento, a porcentagem de perda para a acetona (91%) se mostrou mais alta que a do etanol (28%) e da água (3%). Após 75 dias, as porcentagens de perda variaram entre 23,46% e

99,03% entre todos os produtos, sendo as substâncias puras as mais afetadas. A diferença mais significativa observada foi o tempo de evaporação: a água foi o solvente que mais demorou a evaporar, enquanto a acetona e o etanol - a partir do sétimo dia - mostraram comportamento de evaporação semelhante. Os autores afirmaram que o uso da água como solvente e a associação de solventes orgânicos a ela tornam a solução mais estável. Por fim, concluíram que o armazenamento do frasco fechado e aplicação do adesivo logo após o seu despejo são fundamentais para se alcançar bons resultados.

Ikeda *et al.* (2005) avaliaram os efeitos da evaporação do solvente de dois sistemas adesivos na resistência à tração. Foram utilizados o primer do adesivo convencional OptiBond FL (Kerr) e do autocondicionante de dois passos Searfil SE (Kuraray). Para avaliação da evaporação por armazenamento, uma gota de cada adesivo foram armazenadas em estufa a 37°C por 180 min e pesadas após 0, 5, 10, 20, 30, 60 e 180 min. Para avaliação da evaporação e resistência à tração, uma gota de cada adesivo foi armazenada em estufa a 37°C por 0, 2, 5 min e 24 h. Para avaliação da evaporação por secagem de ar, uma gota de cada adesivo foi despejada e assim mantida por 15 s (OptiBond FL) e 20 s (Clearfil SE), seguindo orientações do fabricante. Em seguida, um jato de ar foi aplicado por 5 ou 30 s.

Os autores observaram que, em relação à evaporação na estufa a 37°C, o peso dos adesivos OptiBond FL (etanol e água) e Clearfil SE (água) caíram consideravelmente no intervalo entre 5 e 10 min, respectivamente. Mesmo alcançando patamar linear de evaporação por volta dos 20 e 30 min - o que indica o limite da capacidade volátil -, os autores destacaram que quanto maior o tempo de armazenamento da solução exposta, maior a evaporação do solvente, especialmente o etanol. Por sua vez, o teste de resistência de união à tração não indicou diferenças significativas entre os dois adesivos, o que pode ser inusitado visto que o OptiBond FL possui maior carga monomérica que o Clearfil SE.

Os autores explicam que as similaridades podem estar mais atreladas à melhor polimerização do adesivo autocondicionante, apesar da menor quantidade de partículas de carga. Diferenças significativas foram observadas na resistência de união antes e após a evaporação do solvente: houve redução de 23% no adesivo convencional e 52% no adesivo autocondicionante. A explicação para estes resultados está na maior quantidade de água no Clearfil SE, que exerceu efeito inibitório sobre a polimerização dos monômeros. Os autores concluíram que a secagem com ar possui grandes efeitos na integridade da solução e que o nível de evaporação está altamente relacionado com o solvente presente.

Lima *et al.* (2005) compararam a taxa de evaporação do solvente e a capacidade de selamento de sistemas adesivos em uso. Nove frascos de sistemas adesivos em uso foram

coletados de uma clínica escola e frascos novos, da mesma marca, foram utilizados como grupo-controle: Single Bond (SB; 3M ESPE), a base de etanol e água, e Prime & Bond 2.1 (P&B; Dentsply Caulk), a base de acetona. O tempo de uso dos adesivos e a quantidade presente em cada frasco eram indeterminados. Para o teste de evaporação, o peso de cada frasco - juntamente com o frasco vazio de cada sistema adesivo - foi determinado com uma balança analítica digital a fim de se identificar o peso da solução. Uma gota de cada adesivo foi despejada na balança e medida imediatamente (peso inicial) e após cada minuto durante 10 minutos (peso final), a fim de verificar a evaporação do solvente.

Os autores observaram que, no teste de evaporação, os adesivos não apresentaram mudanças no peso da solução após 7 min (SB) e 3 minutos (P&B), o que foi associado à alta pressão de vapor da acetona e a maior estabilidade do adesivo à base de etanol devido a associação do solvente à água. Em relação ao teste de microinfiltração, os resultados não apontaram diferenças significativas entre os grupos do adesivo SB, tampouco entre eles e o grupo PB Controle. Por outro lado, entre o grupo PB Controle e PB Teste, foram observados altos valores de infiltração do corante, associados à pobre infiltração dos monômeros devido à ausência do solvente. Os autores concluíram que frascos novos dos adesivos citados apresentaram comportamento similar em relação à microinfiltração. Entretanto, adesivos à base de acetona são mais sensíveis ao uso repetido na rotina clínica, o que torna necessário que os profissionais e acadêmicos estejam cientes desta realidade e mantenham os frascos fechados quando não estiverem em uso.

Howannaphakorn *et al.* (2006) avaliaram os efeitos da duração da evaporação de acetona de sistemas adesivos na microinfiltração. Foi utilizado o sistema adesivo convencional de dois passos Prime & Bond NT (Dentsply), cujo solvente é a acetona. O adesivo foi despejado e mantido em um prato de plástico por 10, 20 e 30 min antes da aplicação. Para o grupo controle, o adesivo foi imediatamente aplicado. Os autores concluíram que não foram observadas diferenças estatísticas entre a infiltração promovida pela aplicação imediata e após 10, 20 e 30 minutos de exposição do solvente antes da aplicação. Ausência de discrepância na microinfiltração foi atribuída à evaporação do solvente, que não aconteceu de forma acentuada no experimento devido ao recipiente utilizado para mantimento da solução estar coberto durante o tempo estipulado. Por fim, os autores observaram microinfiltração estatisticamente maior nas margens cervicais que nas superfícies oclusais.

Yevenes *et al.* (2008) avaliaram a estabilidade química de dois sistemas adesivos em função da perda de solvente. Foram utilizados os adesivos Single Bond (3M), a base de água e etanol, e Prime & Bond NT (Dentsply), a base de acetona. Trinta e seis frascos dos dois

adesivos foram mantidos abertos durante 1, 3, 5, 7, 10 e 15 dias sob diferentes temperaturas (25°C, 30°C, 40°C e 50°C). Após cada um destes períodos, os frascos foram pesados. Foi desenvolvido um método experimental pelos autores para medição da massa, no qual foi prevista a velocidade de perda do solvente diante de diferentes temperaturas. Os autores observaram que a perda de solvente se mostrou semelhante nos dois adesivos no início do processo, apresentando diferenças significativas a partir do segundo dia. No 15º dia, a quantidade de solvente restante foi maior no Single Bond: 4,48%; enquanto o Prime & Bond apresentou apenas 2,19%.

Além disso, a evaporação do solvente em diferentes temperaturas se mostrou variável, sendo a constante da velocidade de perda maior em relação ao Prime & Bond NT em todas as temperaturas, especialmente nas duas últimas. Até 30°C, os valores se mostraram similares em ambos os adesivos – mas ainda superiores no Prime & Bond. Em temperatura ambiente, cerca de 8,46 dias e 4,75 dias seriam necessários para de perda de 10% do solvente do Single Bond e Prime & Bond, respectivamente. Para perda de 50%, cerca de 56,4 e 31,7 dias seriam necessários. Por outro lado, sob 4°C o tempo previsto para perda seria muito maior: cerca de 283,1 (Single Bond) e 112,3 dias (Prime & Bond). Os autores concluíram que, em temperatura ambiente, adesivos a base de acetona são mais susceptíveis à perda do solvente e devem ser armazenados sob refrigeração, por apresentarem maior estabilidade química em baixas temperaturas.

Libório-Lago e Bezerra (2009) avaliaram a influência exercida pela abertura de frascos de sistemas adesivos na microinfiltração marginal em restaurações adesivas. Foram utilizados adesivos à base de acetona (Prime & Bond NT, Dentsply) e etanol/água (Adper Single Bond 2 – ASB 2, 3M ESPE). O uso clínico dos adesivos foi simulado por meio da abertura dos frascos 8 vezes ao dia, durante 15 segundos, a cada 1 h (considerando 15 segundos de abertura em 4 atendimentos por turno/8 pacientes ao dia). O período estabelecido para simulação foi 0, 30, 60 e 90 dias.

Os testes utilizados para análise estatística neste estudo apresentaram resultados distintos. O teste de Turkey não apontou diferenças significativas entre os grupos, enquanto o teste T de Student mostrou maior nível de infiltração em dentina. Este resultado foi relacionado à diferenças químicas e estruturais do tecido, que torna o processo de adesão diferente e mais complexo em comparação com a adesão em esmalte. Por fim, os autores concluíram que a abertura diária dos frascos não exerce influência sobre a microinfiltração e não observaram diferenças em relação ao selamento e nível de microinfiltração dos dois adesivos, ainda que ambos tenham composições diferentes.

Shafiei e Memarpour (2009) compararam os efeitos do uso repetido de dois sistemas adesivos: dois convencionais de dois passos (Prime & Bond NT, Dentsply; One-Step Plus, Bisco Inc.) e dois autocondicionantes (iBond, Heraeus-Kulzer; G-Bond, GC Co.). Parte dos adesivos foram abertos durante 1 min, três vezes ao dia, cinco dias por semana, por duas semanas contínuas (com exceção de fins de semana, nos quais os adesivos permaneceram fechados sob refrigeração), totalizando 30 aberturas. A outra parte dos adesivos foram abertos um total de 60 vezes, seguindo a mesma metodologia. Não foram observadas diferenças significativas após 30 aberturas dos adesivos. Entretanto, após 60 aberturas, os autores observaram redução na resistência de união dos adesivos autocondicionantes.

Também foi observada menor resistência de união no grupo controle dos adesivos autocondicionantes em comparação ao grupo controle dos convencionais. Os autores explicam que, devido à formulação complexa dos adesivos autocondicionantes, a menor das alterações na sua complexa composição os torna mais suscetíveis à formação de uma camada híbrida menos adequada. Assim, eles seriam mais sensíveis a abertura e uso repetidos. Ainda segundo os autores, a redução de monômeros hidrofóbicos de reticulação na composição dos adesivos autocondicionantes altera a formação da rede polimérica e, conseqüentemente, altera negativamente a adesão mecânica. Desta forma, os autores concluíram que - embora todos os adesivos do estudo apresentassem a acetona como solvente - apenas os adesivos autocondicionantes se mostraram sensíveis ao uso repetido.

Nihi *et al.* (2009) avaliaram o processo de evaporação entre solventes puros (acetona, etanol e água), adesivos experimentais (35% de HEMA e 65% de acetona ou etanol e água) e comerciais. Os adesivos comerciais utilizados variam tanto na apresentação (convencionais de 3 ou 2 passos e autocondicionantes de 2 ou 3 passos), quanto no solvente presente (etanol e água, acetona ou água): Adhese Bond (Ivoclar/Vivadent); Adhese Primer (Ivoclar/Vivadent); Multi Bond (DFL); Excite (Ivoclar/Vivadent); Prime & Bond NT (Dentsply); Scotchbond Multipurpose Adhesive (3M ESPE); Scotchbond Multipurpose Primer (3M ESPE); Adper Single Bond 2 (3M ESPE); Xeno III A (Dentsply) e Xeno III B (Dentsply). O peso foi registrado após os intervalos de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 300 e 600 segundos para cálculo da porcentagem de perda.

Os autores observaram que a perda do solvente é o principal fator responsável pela redução no peso dos adesivos. A acetona pura demonstrou os maiores percentuais de perda do estudo. Diferenças significativas foram observadas em todos os intervalos de tempo em comparação ao peso inicial, sendo 79,16% para a acetona pura, 23,42% para o adesivo experimental (HEMA + acetona), 42,02% para o Prime & Bond NT e 42,55% para o Multi

Bond. Dentre as formulações à base de etanol, apenas o etanol puro apresentou perda de massa estatisticamente significativa após 300 e 600 segundos (21,80%). Os autores explicaram que moléculas como o HEMA podem reduzir a capacidade volátil de soluções adesivas, até mesmo aquelas que contam com a acetona como solvente, que são as mais sensíveis à exposição. Logo, os autores concluíram que a exposição afeta a evaporação do adesivo, dependendo do solvente e do adesivo em questão.

Abdussamad *et al.* (2012) compararam a evaporação passiva do solvente através de armazenamento e evaporação facilitada por meio de secagem com jato de ar. Foram utilizados três sistemas adesivos diferentes: um à base de terc-butanol (XP Bond, Dentsply), um à base de acetona (Prime & Bond NT, Dentsply) e um à base de etanol/água (Adper Single Bond, 3M ESPE). Para a evaporação por armazenamento, o recipiente foi pesado após 5, 10, 30, 60, 120 e 180 minutos e 24 horas. Para a evaporação pela secagem com jato de ar, o recipiente de vidro foi posicionado em um bloco de acrílico para padronização da área de aplicação e o adesivo recebeu jato de ar durante 5 ou 10 segundos. Em seguida, os recipientes foram pesados e armazenados em estufa a 37°C com mensuração do peso após cada 24 horas até que ele se mantivesse constante.

Os autores observaram que aumento no nível de evaporação dos três adesivos nos primeiros 5 minutos. Entretanto, o nível de evaporação do Prime & Bond NT foi muito maior e ocorreu de forma abrupta em relação aos outros, que ocorreram de forma gradativa. Após 24 h, o peso dos adesivos se manteve constante. Por outro lado, a secagem com jato de ar aumento de forma considerável a evaporação do solvente – de modo que o Prime & Bond NT continuaram apresentando os maiores níveis em comparação com os demais. O adesivo XP Bonder foi o que apresentou menor nível de evaporação. Os autores ressaltam que o tempo de 10 s pareceu ser suficiente para adequada evaporação do adesivo à base de acetona; porém insuficiente para os demais. Os autores concluíram que o adesivo à base de acetona demonstrou maior volatilidade que os demais; e, no uso clínico, a evaporação do solvente deve ser facilitada pela aplicação de jato de ar, pois a evaporação espontânea não se mostrou suficiente em nenhum dos adesivos estudados.

Pongprueksa *et al.* (2014) avaliaram os efeitos da evaporação do solvente na vida útil de sistemas adesivos universais. O adesivo Scotchbond Universal (3M ESPE) foi despejado em três recipientes para utilização neste estudo. O primeiro, assim que despejado, foi coberto e assim mantido para conservação da solução adesiva ao máximo (SBU100). O segundo foi mantido aberto em ambiente escuro, a temperatura ambiente (20°C) por mais de 14 dias, até que seu peso atingisse uma constante por pelo menos dois dias, de modo que a solução

evaporasse até o seu limite máximo (SBU0). O último foi mantido aberto até alcançar metade da perda calculada de acordo com o segundo recipiente (SBU50). Foram analisados o nível de conversão e resultados do teste de resistência de união à microtração.

A porcentagem de solvente presente na solução, segundo o fabricante, era de 20 a 30% da solução – tendo sido evaporado 22,7% (SBU0) e 11,3% (SBU50). O grupo SBU100 mostrou os melhores níveis de conversão dos monômeros, especialmente quando aplicado na dentina desidratada. Em relação ao teste de resistência à microtração, não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre os grupos SBU100 e SBU50. Porém, o grupo SBU0 apresentou menor resistência de união em relação aos demais. Os autores ainda realizaram um experimento ao incorporar 10% de etanol ao grupo SBU0, o que levou ao aumento de 55,1% para 55,1% no nível de conversão.

Sendo assim, os autores concluíram que a evaporação do solvente afetou o nível de conversão e a resistência de união à tração do adesivo universal. Entretanto, eles ressaltam que a abertura contínua do frasco só exerceu influência negativa após 50% do solvente ter evaporado, o que levou mais de cinco dias com o frasco aberto. Logo, é improvável que situações clínicas – especialmente quando forem respeitadas as orientações do fabricante e o frasco for fechado imediatamente após o uso – levem a evaporação do solvente a um nível no qual a atuação do adesivo seja prejudicada.

Santana *et al.* (2014) avaliaram os efeitos da evaporação do solvente de sistemas adesivos convencionais associada à conservação do frasco sem a tampa. Três sistemas adesivos de três passos foram utilizados: um à base de acetona (Stae, SDI), um à base de terc-butanol (XP Bond, Dentsply) e um à base de etanol (Âmbar, FGM), sendo todos sistemas adesivos convencionais de 2 passos. Para identificação da quantidade e a taxa de evaporação do solvente, uma gota de cada solvente foi despejada em uma balança analítica e o peso foi registrado em intervalos de 5 segundos até alcançar equilíbrio (sob temperatura ambiente). Para determinação da perda de solvente devido à abertura do frasco, foram pesados dois frascos de cada adesivo nas seguintes condições: frascos novos com a solução íntegra; frascos vazios (sem nenhum resíduo de solução adesiva); e frascos armazenados abertos sem a tampa durante 8 h em estufa a 37°C.

Os autores observaram que os adesivos à base de acetona e etanol apresentaram, respectivamente, a maior e menor concentração de solvente. Quanto à evaporação, o adesivo à base de acetona apresentou a maior taxa de evaporação, seguido pelo adesivo à base de terc-butanol e, por fim, o adesivo à base de etanol. Os resultados, entretanto, não apresentaram diferenças significativas entre os adesivos em relação às taxas de evaporação do solvente em

comparação aos valores iniciais. Os autores concluíram que manter o frasco do adesivo sem a sua tampa não resulta em perda significativa do solvente, entretanto, eles ressaltam que outros fatores – que não foram estudados – podem influenciar os resultados.

Kameyama *et al.* (2019) avaliaram a influência da evaporação do solvente na resistência de união máxima à tração de 4 sistemas adesivos. Foram utilizados dois sistemas adesivos autocondicionantes de 2 passos (Clearfil SE Protect, Kuraray Dental; OptiBond XTR, Kerr) e dois sistemas adesivos autocondicionantes de 1 passo (OptiBond All-In-One, Kerr; G-Premio Bond, GC America), sendo quatro frascos para cada adesivo. Dois destes frascos foram mantidos abertos em estufa seca e escura a 37°C por duas semanas. Os demais frascos foram mantidos fechados para o grupo controle. Logo após, eles foram pesados e submetidos ao teste de resistência de união máxima à tração.

O grupo controle do Clearfil SE Protect armazenado por 1 h apresentou maior resistência de união que o grupo armazenado por 7 dias, enquanto o grupo “dessecado” não apresentou diferenças. Houve aumento do peso em todos eles após armazenamento em água e os autores atribuíram isso à presença de HEMA na composição. O OptiBond XTR apresentou menores valores em comparação ao Clearfil SE Protect, inclusive entre o grupo controle e o “dessecado”. A ausência de diferenças entre eles também foi atribuída à ausência de HEMA, o que resultou em menor degradação hidrolítica. Os grupos controle do OptiBond All-In-One e G-Premio Bond não endureceram mesmo após fotopolimerização, o que foi associado ao contato com a água no armazenamento. Os autores concluíram que a evaporação é importante para a polimerização dos adesivos, especialmente os autocondicionantes de 1 passo; e a presença de HEMA predispõe à degradação hidrolítica devido à absorção de água mesmo após a polimerização.

4 DISCUSSÃO

Esta revisão tem como propósito elucidar as adversidades resultantes da evaporação dos solventes de sistemas adesivos em função do uso repetido e abertura dos frascos. Esta problemática se mostra relevante pois, como exposto por Nihi *et al.* (2009) e Abdussamad *et al.* (2012), é de praxe que os cirurgiões-dentistas deixem os frascos abertos durante a realização do procedimento. De forma isolada, o tempo que contempla a abertura do frasco, o despejo da solução, a aplicação no substrato e as demais etapas do procedimento pode não influenciar, a princípio, o conteúdo do solvente no frasco. Porém, considerando a alta rotatividade de pacientes e a grande quantidade de atendimentos nos consultórios odontológicos, o efeito cumulativo da abertura dos frascos pode ser significativo em reduzir o solvente e a efetividade do sistema adesivo.

Os treze artigos científicos que atenderam aos critérios de inclusão deste estudo apresentaram um total de 27 sistemas adesivos comerciais diferentes, sendo 16 convencionais de dois passos, 5 autocondicionantes de um passo, 4 autocondicionantes de dois passos e 2 convencionais de três passos. Quanto aos solventes, a acetona associada ou não à água foi utilizada em 11 adesivos, o etanol associado ou não à água foi utilizado em 9 e 4 apresentaram essencialmente a água como veículo volátil. Um único adesivo apresentou associação de acetona, etanol e água na mesma solução. O terc-butanol e o álcool etílico, considerados solventes alternativos, foram encontrados separados em dois sistemas adesivos. Esta análise está em concordância com os estudos de Cadenaro *et al.* (2009) e Bossardi *et al.* (2019), que apontaram a acetona, etanol e água como os solventes mais encontrados em apresentações comerciais de sistemas adesivos dentários.

Exposto os solventes mais utilizados nos estudos *in vitro* selecionados, é possível comparar o comportamento apresentado por eles. Os resultados obtidos nos estudos de Perdigão, Swift Jr. e Lopes (1999), Abate, Rodriguez e Macchi (2000), Lima *et al.* (2005), Nihi *et al.* (2009) e Abdussamad *et al.* (2012) dialogam entre si em relação ao desempenho dos adesivos à base de acetona nos períodos iniciais de exposição, que apresentaram aumentos súbitos e bruscos da evaporação. Nos primeiros 10 segundos do estudo de Nihi *et al.* (2009), a acetona evaporou quase o dobro dos níveis de evaporação do etanol e da água. Clinicamente, esta discrepância na capacidade volátil reflete no tempo indicado para aplicação de jato de ar com a finalidade de promover a evaporação do solvente da camada adesiva no substrato. Como abordado por Abdussamad *et al.* (2012), cerca de 10 segundos pode ser adequado para

evaporação da acetona, mas o mesmo tempo pode não ser suficiente para adesivos à base de água e etanol.

A acetona é amplamente caracterizada na literatura como um solvente altamente volátil devido sua alta pressão de vapor e baixa temperatura de ebulição, que são – respectivamente - superior e inferior aos valores apresentados pelo etanol e água (HOWANNAPHAKORN *et al.*, 2006; BOSSARDI *et al.*, 2019). A sua superioridade na capacidade volátil é um fato observado e relatado de forma quase unânime nos estudos que se propuseram a avaliar esta substância como solvente (11 dos 13 estudos). Mesmo em estudos como o de Santana *et al.* (2014), em que a evaporação não afetou de forma significativa a quantidade de solvente, observou-se o comportamento mais volátil das soluções à base de acetona.

Os autores também apresentaram concordância nos resultados obtidos com a exposição de adesivos à base de etanol. Os estudos de Abate, Rodriguez e Macchi (2000), Lima *et al.* (2005), Yevenes *et al.* (2008), Nihi *et al.* (2009), Shafiei e Memarpour (2009), Libório-Lago e Bezerra (2009) e Abdussamad *et al.* (2012) mostraram resultados que indicam grande perda de solvente nos adesivos à base de etanol e etanol/água. Porém, tais perdas foram menores que as observadas em adesivos à base de acetona e maiores que nos adesivos à base de água. O etanol é comumente caracterizado como uma substância de alta capacidade volátil devido à sua alta pressão de vapor. O fato dela ser menor que a da acetona e maior que da água explica os resultados obtidos (BOSSARDI *et al.*, 2019). Resultados semelhantes com os adesivos à base de água também foram observados. Estes se mantiveram mais estáveis que os demais, visto sua maior estabilidade frente à exposição ao ambiente e aumento de temperatura (HOWANNAPHAKORN *et al.*, 2006).

Em relação aos valores de perda em porcentagem, a acetona também apresentou os maiores números. Nihi *et al.* (2009) apontou perda de até 42,55% para adesivos comerciais e 79,16% para a substância pura após 600 segundos de exposição, o que equivale a 10 minutos. Estes valores dialogam com os do estudo de Abate, Rodriguez e Macchi (2000), que - após 24h - observaram perda de até 43,16% para os adesivos comerciais e 91,41% para a substância pura. Neste estudo, os adesivos já apresentavam constante de peso após 7 dias de abertura. Estes dados indicam que, ao ser exposta, a acetona tende a alcançar sua perda máxima de conteúdo por evaporação ainda nos primeiros momentos, com aumento brusco e não-gradativo dos níveis de volatilização. Assim, fica claro que poucos tempos de exposição dos adesivos à base de acetona podem ser altamente prejudiciais para a integridade da solução.

Em referência às taxas de perda do etanol por evaporação, também foram encontrados resultados semelhantes entre os estudos. Nihl *et al.* (2009) observou perda de até 6,65% para adesivos comerciais e 21,80% para a substância pura após 10 minutos. Abate, Rodriguez e Macchi (2000) observaram perda de até 13,45% para adesivos comerciais e 28,61% para a substância pura após 24 h. De forma geral, o comportamento do etanol durante a exposição foi menos crítico que o da acetona.

A exposição dos adesivos à base de água, por sua vez, levou à evaporação menos brusca e mais gradativa com o tempo que os solventes orgânicos. Lima *et al.* (2005) mostrou que, após 24 h, houve perda de apenas 1,76%, mas após 75 dias, o valor subiu para 29,13% (valor próximo ao do etanol). Logo, Perdigão, Swift Jr. e Lopes (1999), Abate, Rodriguez e Macchi (2000), Ikeda *et al.* (2005) e Nihl *et al.* (2009) afirmam que os adesivos à base de água estão menos suscetíveis a perdas significativas de solvente após exposição por diferentes períodos. Ainda que a perda seja observada, ela acontece de forma muito mais estável e menos eminente que nos solventes orgânicos.

Os solventes são incorporados em grande quantidade às soluções adesivas devido às suas diversas e importantes funções no estabelecimento da adesão ao substrato. Conforme exposto por Perdigão, Swift Jr. e Lopes (1999), esta quantidade pode variar muito entre marcas e apresentações comerciais dos adesivos, ainda que o solvente em questão seja o mesmo, o que explica parcialmente os diferentes resultados. Lima *et al.* (2005) destacaram que 30% e 80% do conteúdo dos adesivos à base de etanol e acetona, respectivamente, consistiam em solvente. Pongprueksa *et al.* (2014) observou menor quantidade: 23% de solvente no adesivo à base de etanol utilizado no estudo. Assim, é inviável afirmar que a abertura dos frascos apresenta o mesmo risco para todos os adesivos, pois isto também depende do tipo e da quantidade de solvente envolvido.

Os demais constituintes da solução adesiva também podem interferir no processo de evaporação. Lima *et al.* (2005) e Santana *et al.* (2014) afirmam que a adição de água aos solventes orgânicos torna a solução mais estável. E, de fato, no estudo de Abate, Rodriguez e Macchi (2000) é possível observar redução nos valores de evaporação dos adesivos à base de acetona/água em comparação aos adesivos essencialmente à base de acetona após 24 h de exposição: 1,76% e 43,16%, respectivamente.

Entretanto, o mesmo não foi observado nos adesivos à base de etanol/água (13,45%) e essencialmente etanol (5,92%) após 24 h, ou mesmo após 75 dias (35% e 23,46%). Neste caso, outro constituinte pode ter influenciado o comportamento: os monômeros e partículas de carga. Yevenes *et al.* (2008) destaca que a velocidade observada na redução das

moléculas de uma solução está associada à quantidade de moléculas mantidas intactas. Ou seja, quanto maior a quantidade de moléculas residuais, menor será a movimentação e velocidade de evaporação.

Desta forma, monômeros e partículas de carga (especialmente as de alto peso molecular) também podem ser apontados como determinantes na redução da evaporação do adesivo. O HEMA, por exemplo, é citado na literatura como um monômero que contribui na redução da evaporação, pois o aumento da sua concentração diminui a pressão de vapor da solução como um todo (IKEDA *et al.*, 2005; NIHI *et al.*, 2009; ABDUSSAMAD *et al.*, 2012). A alta concentração e densidade dos monômeros, inclusive, é o que impede a completa remoção do solvente e da água da camada adesiva. À medida que o solvente evapora junto à água, a concentração e densidade dos monômeros aumenta e passa a funcionar como uma barreira para as moléculas de solvente e água residuais, que não respondem ao jato de ar aplicado sobre a superfície adesiva (KLEIN-JÚNIOR *et al.*, 2008).

Diversos componentes – como o próprio HEMA, o Bis-GMA e os solventes orgânicos - são comuns à maioria dos sistemas adesivos. Porém, existem constituintes que fogem à regra por serem criações exclusivas de determinados fabricantes e que são protegidas por patentes da replicação comercial, e até mesmo de estudos laboratoriais. Sendo assim, é válido ressaltar que é provável que os sistemas adesivos comerciais contenham ingredientes cujas propriedades e funções são desconhecidas pela literatura, mas que também podem exercer relativa importância no processo de evaporação, como os demais componentes amplamente estudados (VAN LANDUYT, 2007).

Temperatura, umidade do ambiente e forma de armazenamento também são apontados como fatores contribuintes no processo de volatilização (FU *et al.*, 2012). Alguns estudos avaliados, inclusive, adotaram e especificaram diferentes temperaturas e a umidades relativas no decorrer de seus estudos *in vitro* (ABATE, RODRIGUEZ E MACCHI, 2000; LIMA *et al.*, 2005; YEVENES *et al.*, 2008; NIHI *et al.*, 2009). O estudo de Yevenes *et al.* (2008) mostra que, quando armazenado sobre refrigeração, a solução do adesivo apresenta maior estabilidade química e – consequentemente – pode resultar em maior vida útil. Este é um outro fator de grande importância, pois os cirurgiões-dentistas trabalham sob as mais diversas condições. Logo, na presença de ambientes com maior temperatura e menos umidade relativa, deve-se atentar não apenas ao manuseio do adesivo durante os procedimentos, mas também ao seu armazenamento (preferencialmente sob refrigeração).

Além dos efeitos do uso constante dos frascos nas taxas de evaporação, esta revisão se propôs a analisar também os efeitos da evaporação na resistência adesiva. Dos treze estudos

selecionados, um total de 5 estudos avaliaram a resistência adesiva após a abertura dos frascos. Os testes mecânicos de resistência de união são alguns dos principais métodos estabelecidos para avaliação da eficiência na união entre o substrato e o material adesivo em estudos *in vitro*. Entende-se que bons resultados apresentados após estes testes predisõem os materiais e protocolos a apresentarem resultados clínicos ainda melhores, embora não reproduzam com fidelidade as condições observadas no meio bucal (GARCIA; TERADA; CARVALHO, 2002).

Para avaliação dos efeitos da evaporação prematura na resistência adesiva, os estudos de Perdigão, Swift Jr. e Lopes (1999), Ikeda *et al.* (2005), Shafiei e Memarpour (2009), Pongprueksa *et al.* (2009) e Kameyama *et al.* (2019) realizaram os testes de resistência de união ao cisalhamento, à tração e à microtração; e resistência máxima de união à tração e à microtração. Os estudos mencionados apontaram resultados semelhantes, nos quais foram observadas reduções nos valores de resistência de união após a evaporação dos solventes – especialmente no caso dos adesivos à base de acetona.

De modo geral, os adesivos à base de etanol, etanol /água e água não apresentaram diferenças significativas em relação aos grupos controle. Shafiei e Memarpour (2009) notaram diferenças na resistência somente após 4 semanas de simulação de uso do adesivo, no qual o frasco fora aberto por 1 min em um total de 60 vezes. A mesma simulação durante 2 semanas (30 aberturas) não influenciou a resistência de um sistema adesivo autocondicionante de passo único. Kameyama (2019) ressalta que, além da redução na resistência, a camada adesiva apresentou aumento de peso após armazenamento em água (a fim de simular a cavidade oral após o procedimento), o que indica aumento na capacidade de absorção de água.

O aumento da capacidade de absorção de água da interface adesiva pode ser relacionado à presença de monômeros como HEMA e moléculas de água residuais. O solvente possui a importante função de remover as partículas de água e, nos espaços previamente ocupados por elas, facilitar a infiltração dos monômeros. Uma vez que grandes quantidades de solvente foram perdidas durante o uso e abertura dos frascos, a remoção das partículas de residuais de água não será efetiva e a interface adesiva adotará um caráter mais hidrofílico, aumentando as possibilidades de sorção de água e degradação hidrolítica (BRESCHI *et al.*, 2018).

Outra consequência observada com a evaporação prematura do solvente é a redução no nível de conversão dos polímeros. A retenção micromecânica estabelecida no substrato é alcançada quando os monômeros são adequadamente infiltrados nos espaços interfibrilares, onde passam por uma reação química denominada conversão que resulta na formação de cadeiras poliméricas de alto peso molecular. Os baixos níveis de conversão monomérica,

portanto, está diretamente relacionado a um baixo número de monômeros que se transformaram em polímeros, à inadequada polimerização e à formação de polímeros de baixo peso molecular incapazes de estabelecer micro retenção efetiva, o que resulta em baixa resistência adesiva. A presença de grandes quantias de água residual também desfavorece a conversão dos monômeros, pois resulta em diluição dos monômeros hidrossolúveis (CADENARO *et al.*, 2009; ARGOLO *et al.*, 2012).

A perda de solvente também desfavorece a adequada infiltração dos monômeros no substrato. Este processo é imprescindível para o estabelecimento da adesão ao substrato, seja por método químico ou mecânico. O solvente é o responsável por reduzir a viscosidade da solução adesiva, tornando-a mais manipulável e mais suscetível a penetrar as porosidades criadas durante o condicionamento ácido na superfície do tecido. Após a aplicação, preconiza-se um período de 10 a 30 segundos para aplicação de jato de ar na camada adesiva com a finalidade de promover a evaporação do solvente, momento no qual ele conduz os monômeros para o interior dos tecidos e remove as partículas de água também por evaporação. Na sua ausência devido à evaporação prematura, estas funções não são estabelecidas e o processo de adesão é grandemente prejudicado (CHIMELI *et al.*, 2014; GIANNINI *et al.*, 2015; IRMAK *et al.*, 2016).

Os efeitos da ausência do solvente também podem ser observados no desempenho de adesivos formulados sem água ou qualquer solvente orgânico em sua composição. A finalidade destas apresentações comerciais é eliminar os problemas causados pela presença de solvente residual na camada adesiva. Entretanto, um estudo mostra que a resistência e selamento obtidos com este tipo de adesivo são inferiores aos proporcionados pelos adesivos com solventes (SHIRBAN; KHOROUSHI; SHIRBAN, 2013). Sendo assim, fica claro a importância do solvente no sucesso da técnica adesiva e a gravidade dos efeitos proporcionados pela evaporação prematura do adesivo.

A severidade dos impactos relacionados à evaporação prematura do solvente se relaciona também com a classe do sistema adesivo utilizado. Os adesivos autocondicionantes de 1 passo consistem em uma solução única, que possui ingredientes responsáveis pelas três etapas essenciais da adesão: *etching*, *priming* e *bonding*. Para tanto, é necessário uma fórmula mais complexa que encontre equilíbrio entre todos os componentes. Altas concentrações de solventes são observadas nesses produtos, o que pode tornar a evaporação prematura um problema ainda mais grave. Sendo assim, pequenos desequilíbrios e alterações na integridade da solução podem ser altamente prejudiciais no estabelecimento da adesão ao substrato dentário. Logo, quando na utilização de adesivos autocondicionantes de 1 passo, os cuidados

por parte do profissional na prevenção da evaporação prematura devem ser redobrados (SHAFIEI; MEMARPOUR, 2009).

Por fim, dos treze estudos avaliados nesta revisão, apenas três se contrapuseram aos demais e não observaram efeitos significantes da evaporação prematura na evaporação do solvente ou integridade da camada adesiva. Howannaphakorn *et al.* (2006), Libóio-Lago e Bezerra (2009) e Santana *et al.* (2014) utilizaram sistemas adesivos convencionais de 2 passos com diferentes solventes, como acetona, etanol, água e terc-butanol.

Os resultados obtidos não apresentaram aumento nos níveis de microinfiltração ou perdas significativas na quantidade de solvente. Pongprueksa *et al.* (2014), por sua vez, reconheceram os efeitos da evaporação prematura na resistência adesiva apenas após perda de pelo menos 50% do solvente, o que levou pelo menos 5 dias para acontecer, e – segundo os autores – não consiste em uma situação clínica provável. Diversos fatores podem estar relacionados aos resultados destes estudos, como o *design* do frasco do sistema adesivo. Vários dos autores citados ressaltaram que o frasco do adesivo é formulado buscando evitar a perda de grandes quantidades do adesivo, seja por manuseio inadequado ou por evaporação.

Outro notável fator foi exposto por Howannaphakorn *et al.* (2006): o recipiente no qual o adesivo fora despejado e mantido “exposto” permaneceu coberto. Obviamente, a evaporação do solvente não foi efetiva nesta metodologia. Ainda que não tenha fornecido informações sobre taxas de perda por evaporação, o estudo mostra que manter a solução adesiva em um recipiente que não seja o frasco original, porém devidamente fechado, não reduz de forma significativa o conteúdo volátil. Logo, é possível afirmar que ferramentas auxiliares nos procedimentos adesivos – como pote dappen com tampa – se mostram como bons aliados em casos de uso compartilhado do adesivo, como em clínicas-escola, de maneira a evitar perda do solvente e comprometimento da capacidade adesiva.

Diante do exposto, fica clara a influência do solvente no estabelecimento de uma boa adesão ao substrato dentário. Esclarece-se também que o uso repetido, a abertura constante e/ou o inadequado manuseio e armazenamento dos frascos podem levar a perdas significativas de solvente e à redução da resistência adesiva. Entretanto, fatores como o tipo de solvente e os demais compostos do adesivo também influenciam nesse processo. Logo, os profissionais devem estar atentos a estas características para evitar situações que favoreçam a perda do solvente por evaporação e o comprometimento do sistema adesivo.

5 CONCLUSÃO

Diante do exposto, é possível concluir que o uso repetido e a abertura prolongada dos frascos podem levar à perda de quantidades significativas de solvente por evaporação e a perda pode resultar em redução da resistência adesiva ao substrato dentário. Os sistemas adesivos à base de solventes orgânicos, em especial aqueles à base de acetona, são os mais vulneráveis à exposição devido à alta capacidade volátil da acetona. Adesivos autocondicionantes de 1 passo podem ser mais sensíveis à perda devido à complexidade de sua formulação e ao prejuízo que alterações, ainda que pequenas, podem exercer na integridade da solução.

Como forma de contornar essas situações, é importante que os profissionais se mantenham atentos à composição, apresentação e manuseio dos sistemas adesivos, priorizem a utilização imediata da solução logo após o seu despejo e mantenham o frasco fechado quando ele não estiver sendo manuseado. Armazenar sob refrigeração também favorece a estabilidade química da solução, tornando o seu comportamento menos crítico quando exposto e aumentando a vida útil do produto. Por fim, é fundamental seguir as orientações e protocolos estabelecidos pelos fabricantes.

REFERÊNCIAS

- ABATE, P. F.; RODRIGUEZ, V. I.; MACCHI, R. L. Evaporation of solvent in one-bottle adhesives. **Journal of Dentistry**, v. 28, n. 6, p. 437-440, ago. 2000.
- ABDUSSAMAD, J. Y. *et al.* The effect of storage and air-drying on solvent evaporation of three different one-bottle adhesive systems: a comparative in-vitro study. **Journal of International Oral Health**, v. 4, n. 3, p. 35-44, set./dez. 2012.
- AKTERIAN, S. Evaluating the vapour evaporation from the surface of liquid pure organic solvents and their mixtures. **Food Science and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 77-84, 2020.
- ALLEN, K. Current theories of adhesion and their relevance to adhesive technology. **Journal de Physique IV Colloque**, v. 3, p. 1511-1516, nov. 1993.
- ARGOLO, S. *et al.* Effect of increased dwell times for solvent evaporation on the bond strength and degree of conversion of an ethanol-based adhesive system. **Acta Odontológica Latinoamericana**, v. 25, n. 1, p. 109-113, ago. 2012.
- ÁSTVALDSDÓTTIRA, Á. *et al.* Longevity of posterior resin composite restorations in adults – A systematic review. **Journal of Dentistry**, v. 43, p.934-954, 2015.
- AVELAR, W. V. *et al.* Sistemas adesivos universais: composição, indicações, vantagens e desvantagens. **Salusvita**, Bauru, v. 38, n. 1, p. 155-175, 2019.
- BERSEZIO, C. *et al.* Influence of the Passive Evaporation of adhesive on the conductance of dentin. **Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral**, v. 10, n. 1, p. 38-40, 2017.
- BLUM, I. Restoration repair as a contemporary approach to tooth preservation: criteria for decision making and clinical recommendations. **Primary Dental Journal**, v 8, n. 1, p. 38-42, 2019.
- BOSSARDI, M. *et al.* One-year bonding performance of one-bottle etch-and-rinse adhesives to dentin at different moisture conditions. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 32, n. 6, out. 2019.
- BRESCHI, L. *et al.* Dentin bonding systems: From dentin collagen structure to bond preservation and clinical applications. **Dental Materials**, v. 34, n. 1, p. 78-96, jan. 2018.
- BUONOCORE, M. G.; MATSUI, A.; GWINNETT, A. J. Penetration of resin dental materials into enamel surfaces with reference to bonding. **Archives of Oral Biology**, v. 13, n.1, p. 61–72, 1968.
- BURKE, F. J. T. What's New in Dentine Bonding?: Universal Adhesives. **Dental Update**, v. 44, n. 4, p. 328-340, jul. 2017.
- CADENARO, M. *et al.* Effects of residual ethanol on the rate and degree of conversion of five experimental resins. **Dental Materials**, v. 25, n. 5, p. 621-628, maio 2009.

CHEN, C. *et al.* Bonding of universal adhesives to dentine – Old wine in new bottles? **Journal of Dentistry**, v. 43, n. 5, p. 525-536, mai. 2015.

CHIMELI, T. B. C. *et al.* Effects of solvent evaporation on water sorption/solubility and nanoleakage of adhesive systems. **Journal of Applied Oral Science**, vol. 22, n. 4, p. 294-301, 2014.

EMAMIEH, S. *et al.* Effects of solvent drying time and water storage on ultimate tensile strength of adhesives. **Journal of Investigative and Clinical Dentistry**, vol. 5, p. 51-57, 2014.

ERICKSON, R. L.; BARKMEIER, W. W.; LATTA, M. A. The role of etching in bonding to enamel: A comparison of self-etching and etch-and-rinse adhesive systems. **Dental Materials**, v. 25, n. 11, p. 1459-1467, 2009.

ERMIS, R. B. *et al.* Clinical Evaluation of a Two-step Etch&Rinse and a Two-step Self-etch Adhesive System in Class II Restorations: Two-year Results. **Operative Dentistry**, v. 34, n. 6, p.656-663, 2009.

FU, J. *et al.* The effect of air-blowing duration on all-in-one systems. **Dental Materials Journal**, v. 31. n. 6, p. 1075–1081, 2012.

GARCIA, F. C. P.; TERADA, R. S. S.; CARVALHO, R. M. Testes mecânicos para a avaliação laboratorial da união resina/dentina. **Revista da Faculdade de Odontologia de Bauru**, v. 10, n. 3, p. 118-127, 2002.

GIANNINI, M. *et al.* Self-Etch Adhesive Systems: A Literature Review. **Brazilian Dental Journal**, vol. 26, n. 1, p. 3-10, 2015.

GÖSTEMEYER, G.; SCHWENDICKE, F. Inhibition of hybrid layer degradation by cavity pretreatment: Meta- and trial sequential analysis. **Journal of Dentistry**, v. 49, p. 14-21, jun. 2016.

GREGÓIRE, G. *et al.* Solvent composition of one-step self-etch adhesives and dentine wettability. **Journal of Dentistry**, n. 39, p. 30-39, 2011.

HANABUSA, M. *et al.* Bonding effectiveness of a new ‘multi-mode’ adhesive to enamel and dentine. **Journal of Dentistry**, v. 40, n. 6, p. 475-484, jun. 2012.

HEGDE, M.; MANJUNATH, J. Bond Strength of Newer Dentin Bonding Agents in Different Clinical Situations. **Operative Dentistry**, v. 36, n. 2, p. 169-176, 2011.

HEYMANN, H. O.; SWIFT, E. J.; RITTER, A. V. **Sturdevant Arte e Ciência da Dentística Operatória – 6ª ed.** Elsevier, 2013.

HOWANNAPHAKORN, T. Effects of Acetone Evaporation Duration of Dentin Bonding Agent on Microleakage. **Naresuan University Journal**, v. 14, n. 2, p. 23-26, 2006.

IKEDA, T. *et al.* Effect of evaporation of primer components on ultimate tensile strengths of primer–adhesive mixture. **Dental Materials**, v. 21, n. 11, p. 1051-1058, nov. set. 2005.

IRMAK, Ö. *et al.* Solvent type influences bond strength to air or blot-dried dentin. **BMC Oral Health**, v. 16, n. 1, p. 1-6, ago. 2016.

ITOH, S. *et al.* Dentin bond durability and water sorption/solubility of one-step self-etch adhesives. **Dental Materials**, v. 29, n. 5, p. 623–630, 2010.

KAMEYAMA, A. *et al.* Influence of solvent evaporation on ultimate tensile strength of contemporary dental adhesives. **Applied Adhesion Science**, v. 7, n. 4, jun. 2019.

KLEIN-JÚNIOR, C. A. *et al.* Evaporating solvents with a warm air-stream: Effects on adhesive layer properties and resin–dentin bond strengths. **The Journal of Dentistry**, v. 36, n. 8, p. 618-625, ago. 2008.

KOLINIOTOU-KOUMPIA, E. *et al.* Shear bond strength of a "solvent-free" adhesive versus contemporary adhesive systems. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, v. 13, n. 1, p. 64-69, 2014.

LIBÓRIO-LAGO, C. C.; BEZERRA, R. B. Influência do tempo de abertura dos frascos de sistemas adesivos na microinfiltração marginal em restaurações de resina composta. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, Salvador, v. 8, n. 2, p. 162-170, mai./ago. 2009.

LIMA, F. G. *et al.* One-bottle adhesives: in vitro analysis of solvent volatilization and sealing ability. **Brazilian Oral Research**, v. 19, n. 4, p. 278-283, 2005.

MARSIGLIO, A. A. *et al.* Bonding to dentin as a function of air-stream temperatures for solvent evaporation. **Brazilian Oral Research**, vol. 26, n.3, p. 282-7, mai./jun. 2017.

MOURA, S. K. *et al.* The influence of air temperature for solvent evaporation on bonding of self-etch adhesives to dentin. **European Journal of Dentistry**, v. 8, n. 2, p. 205-210, abr./jun 2014.

MÜNCHOW, E. A. *et al.* Influence of surface moisture condition on the bond strength to dentin of etch-and-rinse adhesive systems. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, v. 13, n. 3, p. 182-186, jul. 2014.

NANCI, A. **Ten Cate, Histologia Oral**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

NIHI, F. M. *et al.* In Vitro Assessment of Solvent Evaporation from Commercial Adhesive Systems Compared to Experimental Systems. **Brazilian Dental Journal**, v. 20, n. 5, p. 396-402, 2009.

PALLESEN, U.; DIJKEN, J. W. V. V. A randomized controlled 30 years follow up of three conventional resin composites in Class II restorations. **Dental Materials**, v. 31, n. 10, p.1232-1244, out. 2015.

PAPADOGIANNIS, D. *et al.* Reactivity and Bond Strength of Universal Dental Adhesives With Co-Cr Alloy and Zirconia. **Dentistry Journal**, v. 7, n. 3, p. 78-90, 2019.

PERDIGÃO, J.; SWIFT JR., E. J.; LOPES, G. C. Effects of repeated use on bond strengths of one-bottle adhesives. **Quintessence international**, v. 30, n. 12, p. 819-23, jan. 2000.

- PONGPRUEKSA, P. *et al.* Effect of Evaporation on the Shelf Life of a Universal Adhesive. **Operative Dentistry**, v. 39, n. 4, p. 500-507, 2014.
- ROSA, W. L. O.; PIVA, E.; SILVA, A. F. Bond strength of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. **The Journal of Dentistry**, v. 43, n. 7, p. 765-776, jul. 2015.
- SAKAGUCHI, R.L; POWERS, J.M. **Craig Materiais Dentários Restauradores**. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- SANTANA, M. L. C. *et al.* Does Maintaining a Bottle of Adhesive Without the Lid Significantly Reduce the Solvent Content? **Brazilian Dental Journal**, v. 25, n. 6, p. 543-545, 2014.
- SEZINANDO, A. Looking for the ideal adhesive – A review. **Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial**, v. 55, n. 4, p. 194-206, oct./dez. 2014.
- SHAALAN, O. O.; ABOU-AUF, E.; EL-ZOGHBY, A. F. Clinical evaluation of flowable resin composite versus conventional resin composite in carious and noncarious lesions: Systematic review and meta-analysis. **Journal of Conservative Dentistry**, v. 20, n. 6, p. 380-385, 2017.
- SHAFIEI, F.; MEMARPOUR, M. Effect of repeated use on dentin bond strength of two adhesive systems: All-in-one and one-bottle. **Indian Journal of Dental Research**, v. 20, n. 2, p. 180-184, jun. 2009.
- SHIRBAN, F.; KHOROUSHI, M.; SHIRBAN, M. A New Solvent-free One-Step Self-Etch Adhesive: Bond Strength to Tooth Structures. **The Journal of Contemporary Dental Practice**, v. 14, n. 2, p. 269-274, jul. 2013.
- SINGH, H.S. *et al.* Evolution of Restorative Dentistry from Past to Present. **Indian Journal of Dental Sciences**, v. 9, n. 1, jan. mar. 2017.
- SOFAN, E. *et al.* Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type. **Annali di Stomatologia**, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2017.
- SOUSA JÚNIOR, J. A. de *et al.* Effects of solvent volatilization time on the bond strength of etch-and-rinse adhesive to dentin using conventional or deproteinization bonding techniques. **Restorative Dentistry & Endodontics**, vol. 40, n.3, p.202-208, ago. 2015.
- VALIZADEH, S. *et al.* Microshear Bond Strength of Different Adhesive Systems to Dentin. **Frontiers in Dentistry**, v. 16, n. 4, p. 265-271, ago. 2019.
- VAN LANDUYT *et al.* Monomer-Solvent Phase Separation in One-step Self-etch Adhesives. **Journal of Dental Research**, v. 84, n. 2, p. 183-188, fev. 2005.
- VAN LANDUYT, K. L. *et al.* Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. **Biomaterials**, v. 28, n. 26, p. 3757-3785, set. 2007.

VAN MEERBEK, B. *et al.* From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology. **The Journal of Dentistry**, v. 22, n. 1, p. 7-34, 2020.

WAMBIER, L. *et al.* Effects of Prolonged Light Exposure Times on Water Sorption, Solubility and Cross-linking Density of Simplified Etch-and-Rinse Adhesives. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v. 15, n. 3, p. 229-234, 2014.

WILDER JÚNIOR., A.D. *et al.* A 12-year clinical evaluation of a three-step dentin adhesive in noncarious cervical lesions. **The Journal of the American Dental Association**, v. 140, n. 5, p.526-535, mai. 2009.

WYPYCH, G. Solvents use in various industries. In: WYPYCH, G. *et al.* **Handbook of Solvents**. 3. ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2019. cap. 13, p. 902-915.

YEVENES, I. *et al.* Chemical stability of two dentin single-bottle adhesives as a function of solvent loss. **Revista Odonto Ciência**, v. 23, n. 3, p. 220-224, 2008.

APÊNDICE

APÊNDICE A – ARTIGO CIENTÍFICO

USO REPETIDO E ABERTURA PROLONGADA DE FRASCOS DE SISTEMAS ADESIVOS: efeitos na evaporação do solvente e resistência adesiva

REPEATED USE AND EXTENDED OPENING OF DENTAL ADHESIVES BOTTLES: effects on solvent evaporation and bond strength

Lincoln Aurélio Ferreira Rezende¹
Ândria Milano San Martins²

RESUMO

Os sistemas adesivos consistem em materiais de grande valor para a prática clínica da Odontologia. O solvente é um elemento de extrema importância na sua constituição, sendo necessário respeitar suas características ao traçar e executar os protocolos operacionais. Porém, é de praxe da parte dos profissionais manter o frasco do adesivo aberto entre as aplicações, o que favorece a evaporação do solvente. O objetivo deste estudo é revisar, por meio da literatura científica, os efeitos do uso repetido e abertura prolongada dos frascos dos adesivos na evaporação do solvente e resistência adesiva; o que se mostra ser de grande relevância clínica e científica, pois permite compreender o processo de adesão sob diferentes situações. Foi realizado levantamento bibliográfico nas bases de dados PubMed, Portal da BVS, MEDLINE, LILACS, BIREME e SciELO, tendo como critérios de inclusão os estudos *in vitro* com adesivos comerciais, publicados em forma de artigo científico, nos idiomas português e inglês, nas últimas duas décadas (1999 a 2019). O uso repetido e a abertura prolongada dos frascos dos adesivos podem levar à perda de solvente por evaporação e à redução da resistência adesiva ao substrato dentário. Adesivos à base de solventes orgânicos são os mais vulneráveis à exposição devido à sua alta capacidade volátil. Armazenar os adesivos sob refrigeração, utilizar a substância logo após seu despejo e seguir as instruções do fabricante são medidas fundamentais para a preservação da integridade da solução adesiva e obtenção de bons resultados clínicos.

Palavras-chave: Adesivos Dentinários. Evaporação. Solventes.

1 INTRODUÇÃO

A odontologia restauradora foi marcada por numerosas modificações no decorrer dos anos. A criação dos materiais adesivos, que possibilitaram métodos restauradores cada vez menos invasivos, foi uma das mudanças fundamentais para o estabelecimento das melhores abordagens clínicas da dentística operatória contemporânea. O advento do condicionamento ácido e dos sistemas adesivos permite que os preparos ultraconservadores, com remoção apenas dos tecidos orgânicos lesionados, substituam os preparos cavitários profundos e extensos que caracterizavam o mais apropriado modo de restabelecimento da forma e função dos dentes humanos (GIANNINI *et al.*, 2015).

Os constituintes dos sistemas adesivos lhe proporcionam propriedades únicas que os tornam altamente eficientes quando aplicados apropriadamente, sendo os solventes (à base de etanol, água ou acetona) componentes de destaque. Eles desempenham importância crucial na adesão final, uma vez que auxiliam no deslocamento da água na superfície dentinária após o condicionamento ácido, permitindo a infiltração dos monômeros resinosos nas porosidades

¹ Graduando do Curso de Graduação em Odontologia, Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, São Luís, MA, Brasil. E-mail: lincolnfrezende@gmail.com

² Professora Mestra, Departamento de Odontologia, Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, São Luís, MA, Brasil.

criadas e aumentando a interação físico-química com o substrato, produzindo uma camada híbrida mais adequada. Além disso, os solventes reduzem a viscosidade do adesivo, facilitando a penetração na rede de fibras colágenas e no selamento dos túbulos dentinários – o que, por sua vez, evita conduções hidráulicas, diminuindo a sensibilidade pós-operatória (CHIMELI *et al.*, 2014; SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2015; BERSEZIO *et al.*, 2017).

Entretanto, o solvente só se mostra eficaz na otimização da metodologia adesiva quando lhe é dado um período de tempo para evaporação. Caso contrário, a remoção insuficiente do solvente e da água afetará o processo de polimerização ao reduzir a força coesiva da camada adesiva, facilitando a formação de espaços vazios, rachaduras e fraturas. Tais condições são determinantes nos processos de difusão de fluidos orais pelo adesivo, facilitando recidivas de cárie, manchamentos marginais e diminuição das propriedades mecânicas, além de favorecer a degradação química da matriz resinosa, comprometendo o sucesso da terapia restauradora (EMAMIEH *et al.*, 2014; SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2015; MARSIGLIO *et al.*, 2012).

Sendo o solvente um elemento de extrema importância na constituição dos sistemas adesivos, é necessário respeitar suas características ao traçar e executar os protocolos operacionais dos procedimentos adesivos. Entretanto, durante o atendimento clínico, é de praxe da parte dos profissionais manter o frasco do adesivo aberto entre uma aplicação e outra – o que favorece a evaporação do solvente, comprometendo as propriedades do agente antes mesmo de sua aplicação. Quando se trata dos sistemas adesivos autocondicionantes, cuja apresentação comercial resume em apenas um frasco todas as etapas do procedimento, tais circunstâncias se tornam ainda mais comprometedoras (WAMBIER *et al.*, 2014; GIANNINI *et al.*, 2015).

Com base nos fatos, a análise da influência que o uso repetido e a repetida abertura dos frascos exerce sobre o processo de volatilização do solvente se mostra ser de grande relevância clínica e científica, pois permite compreender o processo de adesão sob diferentes situações. Além disso, tal análise também aumenta o leque de informações disponíveis na literatura sobre o tema, contribuindo para o alcance de melhores resultados nos procedimentos clínicos executados (SOUSA JÚNIOR *et al.*, 2015). Sendo assim, o objetivo deste trabalho é revisar, por meio da literatura científica, os efeitos do uso repetido e abertura prolongada dos frascos de sistemas adesivos na evaporação do solvente e resistência adesiva ao substrato dentário.

2 METODOLOGIA

Os dados apresentados nesta revisão de literatura foram obtidos por meio de pesquisa eletrônica nos motores de busca PubMed, Portal da Biblioteca Virtual em Saúde e Google Acadêmico, nas bases de dados MEDLINE, LILACS, BIREME e SciELO. Foram considerados como critérios de inclusão os estudos *in vitro*, com sistemas adesivos comerciais em uso ou submetidos à simulação de uso ou à abertura dos frascos durante diferentes períodos ou à exposição da solução adesiva durante diferentes períodos, publicados em periódicos nacionais e internacionais em forma de artigo científico, nos idiomas português e inglês, dentro do período referente às últimas duas décadas (1999 a 2019). Foram excluídos os estudos que não atendessem a estes critérios. Após busca e leitura dos títulos e resumos, foram selecionados 45 (quarenta e cinco) artigos para leitura completa. Após esta, foram identificados um total de 13 (treze) estudos que atendiam aos critérios de inclusão estabelecidos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Incorporação de solventes aos sistemas adesivos

Os solventes são agentes comumente incorporados na manufatura de diferentes materiais, em diversas indústrias. De modo geral, o estabelecimento da adesão às superfícies por ligações químicas e/ou mecânicas é otimizado pela presença do solvente, que é inserido na fórmula buscando também aprimorar a solubilidade da solução, reduzir a sua viscosidade, aumentar a mobilidade molecular e potencializar a formação dos polímeros. Os sistemas adesivos de uso odontológico seguem a mesma risca, agregando solventes adequados para o substrato dentário e que apresente evaporação rápida e comportamento hostil quando em contato com o ambiente externo ao frasco de armazenamento (CADENARO *et al.*, 2009; WYPYCH, 2019).

A incorporação dos solventes aos sistemas adesivos geralmente é feita no *primer*, solução rica em partículas hidrofílicas e responsável por preparar a superfície para receber os monômeros hidrofóbicos do adesivo propriamente dito. Os solventes de escolha mais comuns para esta função são os orgânicos: acetona, etanol e água ou essencialmente água, os quais ocupam de 8 a 49% da solução (CADENARO *et al.*, 2009). Além destes, também existem no mercado sistemas adesivos com solventes alternativos, como o *terc-butanol*, que buscam melhorar a hibridização da dentina em condições úmidas (BOSSARDI *et al.*, 2019). Os diferentes tipos de solventes utilizados conferem diferentes padrões de infiltração, secagem e evaporação aos sistemas adesivos, cabendo ao profissional conhecer suas características para assegurar a mais adequada utilização (SAKAGUCHI; POWERS, 2012).

Quando em contato com os tecidos dentários, o solvente exerce funções imprescindíveis para o sucesso da restauração adesiva. O deslocamento da água inerente ao tecido dentinário e do excesso de água oriunda do enxágue da superfície após o condicionamento ácido é uma das funções primordiais. Removendo a água, o solvente permite que os monômeros resinosos se infiltrem entre os espaços interfibrilares da matriz colágena da dentina e ocupem as zonas previamente ocupadas pela água, possibilitando a futura retenção micromecânica a ser estabelecida com a conversão dos monômeros em polímeros (HEYMANN; SWIFT JR.; RITTER, 2013; IRMAK *et al.*, 2016; VAN MEERBEK *et al.*, 2020). O aprimoramento desta conversão também é função do solvente, cuja evaporação promove redução da distância entre os monômeros e formação de redes poliméricas mais firmemente estabelecidas. Além disso, a adequada infiltração monomérica promove a obliteração dos túbulos dentinários e conseqüente redução de movimentação de fluidos no seus interiores, diminuindo a incidência de sensibilidade pós-operatória (ARGOLO *et al.*, 2012; BERSEZIO *et al.*, 2017).

A reexpansão dos espaços interfibrilares criados com o condicionamento ácido da dentina, que podem se encontrar reduzidos após o encolhimento das fibras colágenas causado pela secagem com jato de ar, também é atribuído ao solvente. Os solventes mais capacitados para tal são aqueles com maior característica hidrofílica, como o etanol e a própria água, que quebram as ligações estabilizadoras de hidrogênio responsáveis por manter as fibras encolhidas. Por outro lado, solventes menos hidrofílicos, como a acetona, são menos eficientes em promover a reexpansão do colágeno encolhido devido à baixa capacidade em estabelecer ou mesmo quebrar ligações de hidrogênio (MARSIGLIO *et al.*, 2012; IRMAK *et al.*, 2016).

3.2 O processo de evaporação do solvente

A evaporação do solvente ocorre quando há a separação dos componentes da solução adesiva, isto é, do solvente e do soluto. A partir do processo de ebulição, no qual o solvente passa do estado líquido para o estado gasoso, ocorre a dissociação e evaporação das moléculas do solvente. A principal referência para este processo é a pressão de vapor, que consiste na pressão exercida pelas moléculas do solvente em estado gasoso e que determina proporcionalmente a volatilidade da substância (quanto maior a pressão, mais volátil é o

solvente) (AKTERIAN, 2020). Nos sistemas adesivos dentários, a volatilidade da substância é de grande importância para o manejo do produto, pois permite entender como cada solvente funciona em diferentes condições do substrato dentário e situações clínicas. É importante elucidar que a plena realização de todas as funções citadas está diretamente relacionada à adequada evaporação do solvente (ARGOLO *et al.*, 2012).

A água e o etanol possuem pressão de vapor igual a 17,5 e 43,9mm Hg, respectivamente, enquanto a acetona possui pressão de vapor igual a 184 mm Hg, todos a 20° C. O terc-butanol, solvente alternativo e ainda pouco estudado e abordado na literatura científica, possui pressão de vapor próxima à da água: 26mm Hg (HOWANNAPHAKORN *et al.*, 2006; BOSSARDI *et al.*, 2019). Em relação à temperatura de ebulição, a acetona apresenta o menor valor em comparação com o etanol e a água: 56,6°C, 78,3°C e 100°C, respectivamente (LIMA *et al.*, 2005). Posto isto, é possível inferir que a acetona é o solvente mais volátil dentre os citados, seja pela evaporação espontânea ou pelo aumento da temperatura.

Diante disso, é evidente que a evaporação insuficiente do solvente pode causar grandes prejuízos à integridade da interface adesiva. Grande quantidade de solvente residual interfere nos processos de conversão polimérica, inibindo a polimerização em pontos localizados nos quais se formam porosidades e fendas que predisõem a camada híbrida à infiltração, sorção de água e difusão de fluidos pelo adesivo (ITOH *et al.*, 2010; WAMBIER *et al.*, 2014).

A preocupação com o solvente residual se relaciona não apenas com o espessamento e qualidade da camada híbrida, mas também com o apropriado selamento dos túbulos dentinários que é alcançado com a formação de polímeros de alto peso molecular, o que pode não acontecer na presença de vastas quantias de solvente (CHIMELI *et al.*, 2014; KOLINIOTOU-KOUMPIA *et al.*, 2014; BERSEZIO *et al.*, 2017). A não evaporação da água atrelada ao solvente também contribui para danos irreversíveis na camada híbrida, pois viabiliza a sua degradação hidrolítica, que consiste em reações químicas responsáveis por quebrar ligações covalentes existentes entre os polímeros e degradar as fibras colágenas (BRESCHI *et al.*, 2018).

Diferentes tipos de solventes requerem condições de umidade diferentes para executar adequadamente suas funções, isto porque diversas características e capacidades químicas do solvente estão envolvidas no processo. Pressão de vapor, ponto de ebulição, constante dielétrica, momento dipolar e capacidade em estabelecer ligações de hidrogênio são algumas delas (IRMAK *et al.*, 2016). Ao ser aplicado em superfície dentinária úmida, os solventes (especialmente aqueles de caráter mais hidrofílico, como o etanol) podem encontrar facilidade em interagir e remover as partículas de água. Em contrapartida, quando aplicados em dentina excessivamente molhada, solventes como a acetona - que possuem alta pressão de vapor e são incapazes de realizar ligações de hidrogênio - não se comportam bem por não interagirem facilmente com a água, deixando muitas moléculas residuais na camada híbrida.

Além disso, o excesso de água no substrato pode diluir o material adesivo, tornando a camada adesiva mais permeável. Substratos muito secos podem apresentar redução dos espaços interfibrilares da matriz colágena, especialmente quando a secagem for realizada com jato de ar. Esta condição também pode ser observada em dentina excessivamente molhada, uma vez que o excesso de água incha as fibras colágenas e diminui os espaços existente entre elas (MÜNCHOW *et al.*, 2014; BOSSARDI *et al.*, 2019).

Em relação à utilização do jato de ar para secagem da dentina condicionada e evaporação dos solventes, diversas variáveis podem influenciar a evaporação do solvente, como distância do emissor do jato de ar, tempo de secagem, pressão e temperatura (BOSSARDI *et al.*, 2019). Estudos *in vitro* mostram a influência da temperatura da corrente de ar na força de união à dentina, nos quais o aumento da temperatura promove maior evaporação do solvente e

consequentemente maior força de união à dentina em solventes, especialmente aqueles à base de acetona e água/etanol (KLEIN-JÚNIOR *et al.*, 2008; MARSIGLIO *et al.*, 2012).

Entretanto, as variáveis citadas são de difícil controle e padronização, logo, não caracterizam a técnica mais indicada. A técnica do *blot-drying* - que consiste no uso de bolinha de algodão ou papel absorvente remoção de excessos de água - fornece melhor controle da umidade e impede o colapso da matriz colágena, além de tornar mais viável alcançar uma dentina adequadamente úmida, maior força de adesão ao substrato e melhores propriedades mecânicas (IRMAK *et al.*, 2016).

3.3 Efeitos do uso repetido e abertura prolongada dos frascos de sistemas adesivos

Perdigão, Swift Jr. e Lopes (1999) avaliaram os efeitos do uso repetido de 4 sistemas adesivos na resistência de união ao cisalhamento. Foram utilizados os sistemas adesivos One-Step (OS; Bisco Dental), OptiBond SOLO (OP; Kerr/Sybron), Single Bond (SB; 3M), Syntac Single-Component (SY; Ivoclar/Vivadent); que tiveram seu uso simulado através da abertura do frasco por 1 minuto, 2 vezes ao dia, durante 3 semanas (com exceção dos finais de semana, no qual o adesivo foi mantido aberto e refrigerado). Os autores concluíram que concentração de solventes orgânicos varia entre os adesivos e que, após 3 semanas, o uso repetido diminui a quantidade de solvente do adesivo, especialmente quanto o solvente em questão é a acetona - a mais volátil dentre as substâncias estudadas. Esta situação leva à diminuição da capacidade reativa do solvente no substrato dentinário úmido.

Abate, Rodriguez e Macchi (2000) compararam a evaporação de solventes presentes em diferentes sistemas adesivos de um passo durante o armazenamento sob condições controladas. Onze produtos foram utilizados: adesivos autocondicionantes de um passo (Prime and Bond 2.1, Dentsply; Single Bond, 3M; PrimaBond 97', BJM; Syntac Sprint, Vivadent; Optibond Solo, Kerr; Syntac Single Component, Vivadent), primers de sistemas adesivos convencionais (PermaQuick Primer, Ultradent; Scotchbond Multipurpose Primer, 3M) e soluções puras de acetona, água e etanol 96%. Cerca de 1 ml de cada solução permaneceu armazenada e evaporando por 1, 7, 14, 21, 28, 60 e 75 dias. As maiores porcentagens de perda ocorreram na acetona pura, seguida pelos adesivos à base acetona e à base de acetona associada a outra substância. A diferença mais significativa observada foi o tempo de evaporação: a água foi o solvente que mais demorou a evaporar, enquanto a acetona e o etanol mostraram comportamento de evaporação semelhante.

Ikeda *et al.* (2005) avaliaram os efeitos da evaporação do solvente de dois sistemas adesivos na resistência à tração, sendo eles o adesivo convencional OptiBond FL (Kerr) e o autocondicionante de dois passos Searfil SE (Kuraray). Para avaliação da evaporação por armazenamento, uma gota de cada adesivo foram armazenadas em estufa a 37°C por 180 min e pesadas após 0, 5, 10, 20, 30, 60 e 180 min. Para avaliação da evaporação e resistência à tração, uma gota de cada adesivo foi armazenada em estufa a 37°C por 0, 2, 5 min e 24 h. Para avaliação da evaporação por secagem de ar, uma gota de cada adesivo foi despejada e assim mantida por 15 s (OptiBond FL) e 20 s (Clearfil SE), seguindo orientações do fabricante. Em seguida, um jato de ar foi aplicado por 5 ou 30 s.

Os autores observaram que, em relação à evaporação na estufa a 37°C, o peso dos adesivos OptiBond FL (etanol e água) e Clearfil SE (água) caíram consideravelmente no intervalo entre 5 e 10 min, respectivamente. Mesmo alcançando patamar linear de evaporação por volta dos 20 e 30 min - o que indica o limite da capacidade volátil -, os autores destacaram que quanto maior o tempo de armazenamento da solução exposta, maior a evaporação do solvente, especialmente o etanol. Por sua vez, o teste de resistência de união à tração não indicou diferenças significativas entre os dois adesivos, o que pode ser inusitado visto que o OptiBond FL possui maior carga monomérica que o Clearfil SE. Diferenças significativas foram

observadas na resistência de união antes e após a evaporação do solvente: houve redução de 23% no adesivo convencional e 52% no adesivo autocondicionante. A explicação para estes resultados está na maior quantidade de água no Clearfil SE, que exerceu efeito inibitório sobre a polimerização dos monômeros. Os autores concluíram que a secagem com ar possui grandes efeitos na integridade da solução e que o nível de evaporação está altamente relacionado com o solvente presente.

Lima *et al.* (2005) compararam a taxa de evaporação do solvente e a capacidade de selamento de sistemas adesivos em uso. Nove frascos de sistemas adesivos em uso foram coletados de uma clínica escola e frascos novos, da mesma marca, foram utilizados como grupo-controle: Single Bond (SB; 3M ESPE), a base de etanol e água, e Prime & Bond 2.1 (P&B; Dentsply Caulk), a base de acetona. O tempo de uso dos adesivos e a quantidade presente em cada frasco eram indeterminados. Para o teste de evaporação, o peso de cada frasco - juntamente com o frasco vazio de cada sistema adesivo - foi determinado com uma balança analítica digital a fim de se identificar o peso da solução. Uma gota de cada adesivo foi despejada na balança e medida imediatamente (peso inicial) e após cada minuto durante 10 minutos (peso final), a fim de verificar a evaporação do solvente.

Os autores observaram que, no teste de evaporação, os adesivos não apresentaram mudanças no peso da solução após 7 min (SB) e 3 minutos (P&B), o que foi associado à alta pressão de vapor da acetona e a maior estabilidade do adesivo à base de etanol devido à associação do solvente à água. Em relação ao teste de microinfiltração, os resultados não apontaram diferenças significativas entre os grupos do adesivo SB, tampouco entre eles e o grupo PB Controle. Por outro lado, entre o grupo PB Controle e PB Teste, foram observados altos valores de infiltração do corante, associados à pobre infiltração dos monômeros devido à ausência do solvente. Os autores concluíram que frascos novos dos adesivos citados apresentaram comportamento similar em relação à microinfiltração. Entretanto, adesivos à base de acetona são mais sensíveis ao uso repetido na rotina clínica.

Howanaphakorn *et al.* (2006) avaliaram os efeitos da duração da evaporação de acetona de sistemas adesivos na microinfiltração. Foi utilizado o sistema adesivo convencional de dois passos Prime & Bond NT (Dentsply), cujo solvente é a acetona. O adesivo foi despejado e mantido em um prato de plástico por 10, 20 e 30 min antes da aplicação. Os autores concluíram que não foram observadas diferenças estatísticas entre a infiltração promovida pela aplicação imediata e após 10, 20 e 30 minutos de exposição do solvente antes da aplicação. Ausência de discrepância na microinfiltração foi atribuída à evaporação do solvente, que não aconteceu de forma acentuada no experimento devido ao recipiente utilizado para mantimento da solução estar coberto durante o tempo estipulado. Por fim, os autores observaram microinfiltração estatisticamente maior nas margens cervicais que nas superfícies oclusais.

Yevenes *et al.* (2008) avaliaram a estabilidade química de dois sistemas adesivos em função da perda de solvente. Foram utilizados os adesivos Single Bond (3M), a base de água e etanol, e Prime & Bond NT (Dentsply), a base de acetona. Trinta e seis frascos dos dois adesivos foram mantidos abertos durante 1, 3, 5, 7, 10 e 15 dias sob diferentes temperaturas (25°C, 30°C, 40°C e 50°C). Os autores observaram que a perda de solvente se mostrou semelhante nos dois adesivos no início do processo, apresentando diferenças significativas a partir do segundo dia. Além disso, a evaporação do solvente em diferentes temperaturas se mostrou variável, sendo a constante da velocidade de perda maior em relação ao Prime & Bond NT em todas as temperaturas, especialmente nas duas últimas. Os autores concluíram que, em temperatura ambiente, adesivos a base de acetona são mais susceptíveis à perda do solvente e devem ser armazenados sob refrigeração, por apresentarem maior estabilidade química em baixas temperaturas.

Libório-Lago e Bezerra (2009) avaliaram a influência exercida pela abertura de frascos de sistemas adesivos na microinfiltração marginal em restaurações adesivas. Foram

utilizados adesivos à base de acetona (Prime & Bond NT, Dentsply) e etanol/água (Adper Single Bond 2 – ASB 2, 3M ESPE). O uso clínico dos adesivos foi simulado por meio da abertura dos frascos 8 vezes ao dia, durante 15 segundos, a cada 1 h (considerando 15 segundos de abertura em 4 atendimentos por turno/8 pacientes ao dia). O período estabelecido para simulação foi 0, 30, 60 e 90 dias. Os testes utilizados para análise estatística neste estudo apresentaram resultados distintos. O teste de Turkey não apontou diferenças significativas entre os grupos, enquanto o teste T de Student mostrou maior nível de infiltração em dentina. Este resultado foi relacionado à diferenças químicas e estruturais do tecido, que torna o processo de adesão diferente e mais complexo em comparação com a adesão em esmalte. Os autores concluíram que a abertura diária dos frascos não exerce influência sobre a microinfiltração e não observaram diferenças em relação ao selamento e nível de microinfiltração dos dois adesivos, ainda que ambos tenham composições diferentes.

Shafiei e Memarpour (2009) compararam os efeitos do uso repetido de dois sistemas adesivos: dois convencionais de dois passos (Prime & Bond NT, Dentsply; One-Step Plus, Bisco Inc.) e dois autocondicionantes (iBond, Heraeus-Kulzer; G-Bond, GC Co.). Parte dos adesivos foram abertos durante 1 min, três vezes ao dia, cinco dias por semana, por duas semanas contínuas (com exceção de fins de semana, nos quais os adesivos permaneceram fechados sob refrigeração), totalizando 30 aberturas. A outra parte dos adesivos foram abertos um total de 60 vezes, seguindo a mesma metodologia. Não foram observadas diferenças significativas após 30 aberturas dos adesivos. Entretanto, após 60 aberturas, os autores observaram redução na resistência de união dos adesivos autocondicionantes.

Também foi observada menor resistência de união no grupo controle dos adesivos autocondicionantes em comparação ao grupo controle dos convencionais. Os autores explicam que, devido à formulação complexa dos adesivos autocondicionantes, a menor das alterações na sua complexa composição os torna mais suscetíveis à formação de uma camada híbrida menos adequada. Assim, eles seriam mais sensíveis a abertura e uso repetidos. Ainda segundo os autores, a redução de monômeros hidrofóbicos de reticulação na composição dos adesivos autocondicionantes altera a formação da rede polimérica e, conseqüentemente, altera negativamente a adesão mecânica. Desta forma, os autores concluíram que - embora todos os adesivos do estudo apresentassem a acetona como solvente - apenas os adesivos autocondicionantes se mostraram sensíveis ao uso repetido.

Nihi *et al.* (2009) avaliaram o processo de evaporação entre solventes puros (acetona, etanol e água), adesivos experimentais (35% de HEMA e 65% de acetona ou etanol e água) e comerciais. Os adesivos comerciais utilizados variam tanto na apresentação (convencionais de 3 ou 2 passos e autocondicionantes de 2 ou 3 passos), quanto no solvente presente (etanol e água, acetona ou água): Adhese Bond (Ivoclar/Vivadent); Adhese Primer (Ivoclar/Vivadent); Multi Bond (DFL); Excite (Ivoclar/Vivadent); Prime & Bond NT (Dentsply); Scotchbond Multipurpose Adhesive (3M ESPE); Scotchbond Multipurpose Primer (3M ESPE); Adper Single Bond 2 (3M ESPE); Xeno III A (Dentsply) e Xeno III B (Dentsply). O peso foi registrado após os intervalos de 5, 10, 15, 30, 60, 120, 300 e 600 segundos.

Os autores observaram que a perda do solvente é o principal fator responsável pela redução no peso dos adesivos. A acetona pura demonstrou os maiores percentuais de perda do estudo. Diferenças significativas foram observadas em todos os intervalos de tempo em comparação ao peso inicial, sendo 79,16% para a acetona pura, 23,42% para o adesivo experimental, 42,02% para o Prime & Bond NT e 42,55% para o Multi Bond. Dentre as formulações à base de etanol, apenas o etanol puro apresentou perda de massa estatisticamente significativa após 300 e 600 segundos (21,80%). Os autores explicaram que moléculas como o HEMA podem reduzir a capacidade volátil de soluções adesivas, até mesmo aquelas que contam com a acetona como solvente, que são as mais sensíveis à exposição. Logo, os autores

concluíram que a exposição afeta a evaporação do adesivo, dependendo do solvente e do adesivo em questão.

Abdussamad *et al.* (2012) compararam a evaporação passiva do solvente através de armazenamento e evaporação facilitada por meio de secagem com jato de ar. Foram utilizados três sistemas adesivos diferentes: um à base de terc-butanol (XP Bond, Dentsply), um à base de acetona (Prime & Bond NT, Dentsply) e um à base de etanol/água (Adper Single Bond, 3M ESPE). Para a evaporação por armazenamento, o recipiente foi pesado após 5, 10, 30, 60, 120 e 180 minutos e 24 horas. Para a evaporação pela secagem com jato de ar, o recipiente de vidro foi posicionado em um bloco de acrílico para padronização da área de aplicação e o adesivo recebeu jato de ar durante 5 ou 10 segundos. Em seguida, os recipientes foram pesados e armazenados em estufa a 37°C com mensuração do peso após cada 24 horas até que ele se mantivesse constante.

Os autores observaram que aumento no nível de evaporação dos três adesivos nos primeiros 5 minutos. Entretanto, o nível de evaporação do Prime & Bond NT foi muito maior e ocorreu de forma abrupta em relação aos outros, que ocorreram de forma gradativa. Após 24 h, o peso dos adesivos se manteve constante. Por outro lado, a secagem com jato de ar aumento de forma considerável a evaporação do solvente – de modo que o Prime & Bond NT continuaram apresentando os maiores níveis em comparação com os demais. O adesivo XP Bonder foi o que apresentou menor nível de evaporação. Os autores concluíram que o adesivo à base de acetona demonstrou maior volatilidade que os demais; e, no uso clínico, a evaporação do solvente deve ser facilitada pela aplicação de jato de ar, pois a evaporação espontânea não se mostrou suficiente em nenhum dos adesivos estudados.

Pongprueksa *et al.* (2014) avaliaram os efeitos da evaporação do solvente na vida útil de sistemas adesivos universais. O adesivo Scotchbond Universal (3M ESPE) foi despejado em três recipientes para utilização neste estudo. O primeiro, assim que despejado, foi coberto e assim mantido para conservação da solução adesiva ao máximo (SBU100). O segundo foi mantido aberto em ambiente escuro, a temperatura ambiente (20°C) por mais de 14 dias, até que seu peso atingisse uma constante por pelo menos dois dias, de modo que a solução evaporasse até o seu limite máximo (SBU0). O último foi mantido aberto até alcançar metade da perda calculada de acordo com o segundo recipiente (SBU50). Foram analisados o nível de conversão e resultados do teste de resistência de união à microtração.

A porcentagem de solvente presente na solução, segundo o fabricante, era de 20 a 30% da solução – tendo sido evaporado 22,7% (SBU0) e 11,3% (SBU50). O grupo SBU100 mostrou os melhores níveis de conversão dos monômeros, especialmente quando aplicado na dentina desidratada. Em relação ao teste de resistência à microtração, não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre os grupos SBU100 e SBU50. Porém, o grupo SBU0 apresentou menor resistência de união em relação aos demais. Os autores ainda realizaram um experimento ao incorporar 10% de etanol ao grupo SBU0, o que levou ao aumento de 55,1% para 55,1% no nível de conversão. Sendo assim, os autores concluíram que a evaporação do solvente afetou o nível de conversão e a resistência de união à tração do adesivo universal. Entretanto, eles ressaltam que a abertura contínua do frasco só exerceu influência negativa após 50% do solvente ter evaporado, o que levou mais de cinco dias com o frasco aberto.

Santana *et al.* (2014) avaliaram os efeitos da evaporação do solvente de sistemas adesivos convencionais associada à conservação do frasco sem a tampa. Três sistemas adesivos de três passos foram utilizados: um à base de acetona (Stae, SDI), um à base de terc-butanol (XP Bond, Dentsply) e um à base de etanol (Âmbar, FGM), sendo todos sistemas adesivos convencionais de 2 passos. Para identificação da quantidade e a taxa de evaporação do solvente, uma gota de cada solvente foi despejada em uma balança analítica e o peso foi registrado em intervalos de 5 segundos até alcançar equilíbrio (sob temperatura ambiente). Para determinação

da perda de solvente devido à abertura do frasco, foram pesados dois frascos de cada adesivo nas seguintes condições: frascos novos com a solução íntegra; frascos vazios (sem nenhum resíduo de solução adesiva); e frascos armazenados abertos sem a tampa durante 8 h em estufa a 37°C.

Os autores observaram que os adesivos à base de acetona e etanol apresentaram, respectivamente, a maior e menor concentração de solvente. Quanto à evaporação, o adesivo à base de acetona apresentou a maior taxa de evaporação, seguido pelo adesivo à base de terc-butanol e, por fim, o adesivo à base de etanol. Os resultados, entretanto, não apresentaram diferenças significativas entre os adesivos em relação às taxas de evaporação do solvente em comparação aos valores iniciais. Os autores concluíram que manter o frasco do adesivo sem a sua tampa não resulta em perda significativa do solvente, entretanto, eles ressaltam que outros fatores – que não foram estudados – podem influenciar os resultados.

Kameyama *et al.* (2019) avaliaram a influência da evaporação do solvente na resistência de união máxima à tração de 4 sistemas adesivos. Foram utilizados dois sistemas adesivos autocondicionantes de 2 passos (Clearfil SE Protect, Kuraray Dental; OptiBond XTR, Kerr) e dois sistemas adesivos autocondicionantes de 1 passo (OptiBond All-In-One, Kerr; G-Premio Bond, GC America), sendo quatro frascos para cada adesivo. Dois destes frascos foram mantidos abertos em estufa seca e escura a 37°C por duas semanas. Os demais frascos foram mantidos fechados para o grupo controle. Logo após, eles foram pesados e submetidos ao teste de resistência de união máxima à tração.

O grupo controle do Clearfil SE Protect armazenado por 1 h apresentou maior resistência de união que o grupo armazenado por 7 dias, enquanto o grupo “dessecado” não apresentou diferenças. Houve aumento do peso em todos eles após armazenamento em água e os autores atribuíram isso à presença de HEMA na composição. O OptiBond XTR apresentou menores valores em comparação ao Clearfil SE Protect, inclusive entre o grupo controle e o “dessecado”. A ausência de diferenças entre eles também foi atribuída à ausência de HEMA, o que resultou em menor degradação hidrolítica. Os grupos controle do OptiBond All-In-One e G-Premio Bond não endureceram mesmo após fotopolimerização, o que foi associado ao contato com a água no armazenamento. Os autores concluíram que a evaporação é importante para a polimerização dos adesivos, especialmente os autocondicionantes de 1 passo; e a presença de HEMA predispõe à degradação hidrolítica devido à absorção de água mesmo após a polimerização.

4 DISCUSSÃO

Esta revisão tem como propósito elucidar as adversidades resultantes da evaporação dos solventes de sistemas adesivos em função do uso repetido e abertura dos frascos. Esta problemática se mostra relevante pois, como exposto por Nihi *et al.* (2009) e Abdussamad *et al.* (2012), é de praxe que os cirurgiões-dentistas deixem os frascos abertos durante a realização do procedimento. De forma isolada, o tempo que contempla a abertura do frasco, o despejo da solução, a aplicação no substrato e as demais etapas do procedimento pode não influenciar, a princípio, o conteúdo do solvente no frasco. Porém, considerando a alta rotatividade de pacientes e a grande quantidade de atendimentos nos consultórios odontológicos, o efeito cumulativo da abertura dos frascos pode ser significativo em reduzir o solvente e a efetividade do sistema adesivo.

Os treze artigos científicos que atenderam aos critérios de inclusão deste estudo apresentaram um total de 27 sistemas adesivos comerciais diferentes, sendo 16 convencionais de dois passos, 5 autocondicionantes de um passo, 4 autocondicionantes de dois passos e 2 convencionais de três passos. Quanto aos solventes, a acetona associada ou não à água foi utilizada em 11 adesivos, o etanol associado ou não à água foi utilizado em 9 e 4 apresentaram

essencialmente a água como veículo volátil. Um único adesivo apresentou associação de acetona, etanol e água na mesma solução. O terc-butanol e o álcool etílico, considerados solventes alternativos, foram encontrados separados em dois sistemas adesivos. Esta análise está em concordância com os estudos de Cadenaro *et al.* (2009) e Bossardi *et al.* (2019), que apontaram a acetona, etanol e água como os solventes mais encontrados em apresentações comerciais de sistemas adesivos dentários.

Exposto os solventes mais utilizados nos estudos *in vitro* selecionados, é possível comparar o comportamento apresentado por eles. Os resultados obtidos nos estudos de Perdigão, Swift Jr. e Lopes (1999), Abate, Rodriguez e Macchi (2000), Lima *et al.* (2005), Nihi *et al.* (2009) e Abdussamad *et al.* (2012) dialogam entre si em relação ao desempenho dos adesivos à base de acetona nos períodos iniciais de exposição, que apresentaram aumentos súbitos e bruscos da evaporação. Nos primeiros 10 segundos do estudo de Nihi *et al.* (2009), a acetona evaporou quase o dobro dos níveis de evaporação do etanol e da água. Clinicamente, esta discrepância na capacidade volátil reflete no tempo indicado para aplicação de jato de ar com a finalidade de promover a evaporação do solvente da camada adesiva no substrato. Como abordado por Abdussamad *et al.* (2012), cerca de 10 segundos pode ser adequado para evaporação da acetona, mas o mesmo tempo pode não ser suficiente para adesivos à base de água e etanol.

A acetona é amplamente caracterizada na literatura como um solvente altamente volátil devido sua alta pressão de vapor e baixa temperatura de ebulição, que são – respectivamente - superior e inferior aos valores apresentados pelo etanol e água (HOWANNAPHAKORN *et al.*, 2006; BOSSARDI *et al.*, 2019). A sua superioridade na capacidade volátil é um fato observado e relatado de forma quase unânime nos estudos que se propuseram a avaliar esta substância como solvente (11 dos 13 estudos). Mesmo em estudos como o de Santana *et al.* (2014), em que a evaporação não afetou de forma significativa a quantidade de solvente, observou-se o comportamento mais volátil das soluções à base de acetona.

Os autores também apresentaram concordância nos resultados obtidos com a exposição de adesivos à base de etanol. Os estudos de Abate, Rodriguez e Macchi (2000), Lima *et al.* (2005), Yevenes *et al.* (2008), Nihi *et al.* (2009), Shafiei e Memarpour (2009), Libório-Lago e Bezerra (2009) e Abdussamad *et al.* (2012) mostraram resultados que indicam grande perda de solvente nos adesivos à base de etanol e etanol/água. Porém, tais perdas foram menores que as observadas em adesivos à base de acetona e maiores que nos adesivos à base de água. O etanol é comumente caracterizado como uma substância de alta capacidade volátil devido à sua alta pressão de vapor. O fato dela ser menor que a da acetona e maior que da água explica os resultados obtidos (BOSSARDI *et al.*, 2019). Resultados semelhantes com os adesivos à base de água também foram observados. Estes se mantiveram mais estáveis que os demais, visto sua maior estabilidade frente à exposição ao ambiente e aumento de temperatura (HOWANNAPHAKORN *et al.*, 2006).

Em relação aos valores de perda em porcentagem, a acetona também apresentou os maiores números. Nihi *et al.* (2009) apontou perda de até 42,55% para adesivos comerciais e 79,16% para a substância pura após 600 segundos de exposição, o que equivale a 10 minutos. Estes valores dialogam com os do estudo de Abate, Rodriguez e Macchi (2000), que - após 24h - observaram perda de até 43,16% para os adesivos comerciais e 91,41% para a substância pura. Neste estudo, os adesivos já apresentavam constante de peso após 7 dias de abertura. Estes dados indicam que, ao ser exposta, a acetona tende a alcançar sua perda máxima de conteúdo por evaporação ainda nos primeiros momentos, com aumento brusco e não-gradativo dos níveis de volatilização. Assim, fica claro que poucos tempos de exposição dos adesivos à base de acetona podem ser altamente prejudiciais para a integridade da solução.

Em referência às taxas de perda do etanol por evaporação, também foram encontrados resultados semelhantes entre os estudos. Nihi *et al.* (2009) observou perda de até 6,65% para adesivos comerciais e 21,80% para a substância pura após 10 minutos. Abate, Rodriguez e Macchi (2000) observaram perda de até 13,45% para adesivos comerciais e 28,61% para a substância pura após 24 h. De forma geral, o comportamento do etanol durante a exposição foi menos crítico que o da acetona.

A exposição dos adesivos à base de água, por sua vez, levou à evaporação menos brusca e mais gradativa com o tempo que os solventes orgânicos. Lima *et al.* (2005) mostrou que, após 24 h, houve perda de apenas 1,76%, mas após 75 dias, o valor subiu para 29,13% (valor próximo ao do etanol). Logo, Perdigão, Swift Jr. e Lopes (1999), Abate, Rodriguez e Macchi (2000), Ikeda *et al.* (2005) e Nihi *et al.* (2009) afirmam que os adesivos à base de água estão menos suscetíveis a perdas significativas de solvente após exposição por diferentes períodos. Ainda que a perda seja observada, ela acontece de forma muito mais estável e menos eminente que nos solventes orgânicos.

Os solventes são incorporados em grande quantidade às soluções adesivas devido às suas diversas e importantes funções no estabelecimento da adesão ao substrato. Conforme exposto por Pergião, Swift Jr. e Lopes (1999), esta quantidade pode variar muito entre marcas e apresentações comerciais dos adesivos, ainda que o solvente em questão seja o mesmo, o que explica parcialmente os diferentes resultados. Lima *et al.* (2005) destacaram que 30% e 80% do conteúdo dos adesivos à base de etanol e acetona, respectivamente, consistiam em solvente. Pongprueksa *et al.* (2014) observou menor quantidade: 23% de solvente no adesivo à base de etanol utilizado no estudo. Assim, é inviável afirmar que a abertura dos frascos apresenta o mesmo risco para todos os adesivos, pois isto também depende do tipo e da quantidade de solvente envolvido.

Os demais constituintes da solução adesiva também podem interferir no processo de evaporação. Lima *et al.* (2005) e Santana *et al.* (2014) afirmam que a adição de água aos solventes orgânicos torna a solução mais estável. E, de fato, no estudo de Abate, Rodriguez e Macchi (2000) é possível observar redução nos valores de evaporação dos adesivos à base de acetona/água em comparação aos adesivos essencialmente à base de acetona após 24 h de exposição: 1,76% e 43,16%, respectivamente.

Entretanto, o mesmo não foi observado nos adesivos à base de etanol/água (13,45%) e essencialmente etanol (5,92%) após 24 h, ou mesmo após 75 dias (35% e 23,46%). Neste caso, outro constituinte pode ter influenciado o comportamento: os monômeros e partículas de carga. Yevenes *et al.* (2008) destaca que a velocidade observada na redução das moléculas de uma solução está associada à quantidade de moléculas mantidas intactas. Ou seja, quanto maior a quantidade de moléculas residuais, menor será a movimentação e velocidade de evaporação.

Desta forma, monômeros e partículas de carga (especialmente as de alto peso molecular) também podem ser apontados como determinantes na redução da evaporação do adesivo. O HEMA, por exemplo, é citado na literatura como um monômero que contribui na redução da evaporação, pois o aumento da sua concentração diminui a pressão de vapor da solução como um todo (IKEDA *et al.*, 2005; NIHI *et al.*, 2009; ABDUSSAMAD *et al.*, 2012). A alta concentração e densidade dos monômeros, inclusive, é o que impede a completa remoção do solvente e da água da camada adesiva. À medida que o solvente evapora junto à água, a concentração e densidade dos monômeros aumenta e passa a funcionar como uma barreira para as moléculas de solvente e água residuais, que não respondem ao jato de ar aplicado sobre a superfície adesiva (KLEIN-JÚNIOR *et al.*, 2008).

Diversos componentes – como o próprio HEMA, o Bis-GMA e os solventes orgânicos – são comuns à maioria dos sistemas adesivos. Porém, existem constituintes que fogem à regra por serem criações exclusivas de determinados fabricantes e que são protegidas

por patentes da replicação comercial, e até mesmo de estudos laboratoriais. Sendo assim, é válido ressaltar que é provável que os sistemas adesivos comerciais contenham ingredientes cujas propriedades e funções são desconhecidas pela literatura, mas que também podem exercer relativa importância no processo de evaporação, como os demais componentes amplamente estudados (VAN LANDUYT, 2007).

Temperatura, umidade do ambiente e forma de armazenamento também são apontados como fatores contribuintes no processo de volatilização (FU *et al.*, 2012). Alguns estudos avaliados, inclusive, adotaram e especificaram diferentes temperaturas e a umidades relativas no decorrer de seus estudos *in vitro* (ABATE, RODRIGUEZ E MACCHI, 2000; LIMA *et al.*, 2005; YEVENES *et al.*, 2008; NIHI *et al.*, 2009). O estudo de Yevenes *et al.* (2008) mostra que, quando armazenado sobre refrigeração, a solução do adesivo apresenta maior estabilidade química e – consequentemente – pode resultar em maior vida útil. Este é um outro fator de grande importância, pois os cirurgiões-dentistas trabalham sob as mais diversas condições. Logo, na presença de ambientes com maior temperatura e menos umidade relativa, deve-se atentar não apenas ao manuseio do adesivo durante os procedimentos, mas também ao seu armazenamento (preferencialmente sob refrigeração).

Além dos efeitos do uso constante dos frascos nas taxas de evaporação, esta revisão se propôs a analisar também os efeitos da evaporação na resistência adesiva. Dos treze estudos selecionados, um total de 5 estudos avaliaram a resistência adesiva após a abertura dos frascos. Os testes mecânicos de resistência de união são alguns dos principais métodos estabelecidos para avaliação da eficiência na união entre o substrato e o material adesivo em estudos *in vitro*. Entende-se que bons resultados apresentados após estes testes predisõem os materiais e protocolos a apresentarem resultados clínicos ainda melhores, embora não reproduzam com fidelidade as condições observadas no meio bucal (GARCIA; TERADA; CARVALHO, 2002).

Para avaliação dos efeitos da evaporação prematura na resistência adesiva, os estudos de Perdigão, Swift Jr. e Lopes (1999), Ikeda *et al.* (2005), Shafiei e Memarpour (2009), Pongprueksa *et al.* (2009) e Kameyama *et al.* (2019) realizaram os testes de resistência de união ao cisalhamento, à tração e à microtração; e resistência máxima de união à tração e à microtração. Os estudos mencionados apontaram resultados semelhantes, nos quais foram observadas reduções nos valores de resistência de união após a evaporação dos solventes – especialmente no caso dos adesivos à base de acetona.

De modo geral, os adesivos à base de etanol, etanol /água e água não apresentaram diferenças significativas em relação aos grupos controle. Shafiei e Memarpour (2009) notaram diferenças na resistência somente após 4 semanas de simulação de uso do adesivo, no qual o frasco fora aberto por 1 min em um total de 60 vezes. A mesma simulação durante 2 semanas (30 aberturas) não influenciou a resistência de um sistema adesivo autocondicionante de passo único. Kameyama (2019) ressalta que, além da redução na resistência, a camada adesiva apresentou aumento de peso após armazenamento em água (a fim de simular a cavidade oral após o procedimento), o que indica aumento na capacidade de absorção de água.

O aumento da capacidade de absorção de água da interface adesiva pode ser relacionado à presença de monômeros como HEMA e moléculas de água residuais. O solvente possui a importante função de remover as partículas de água e, nos espaços previamente ocupados por elas, facilitar a infiltração dos monômeros. Uma vez que grandes quantidades de solvente foram perdidas durante o uso e abertura dos frascos, a remoção das partículas de residuais de água não será efetiva e a interface adesiva adotará um caráter mais hidrofílico, aumentando as possibilidades de sorção de água e degradação hidrolítica (BRESCHI *et al.*, 2018).

Outra consequência observada com a evaporação prematura do solvente é a redução no nível de conversão dos polímeros. A retenção micromecânica estabelecida no substrato é alcançada quando os monômeros são adequadamente infiltrados nos espaços interfibrilares,

onde passam por uma reação química denominada conversão que resulta na formação de cadeiras poliméricas de alto peso molecular. Os baixos níveis de conversão monomérica, portanto, está diretamente relacionado a um baixo número de monômeros que se transformaram em polímeros, à inadequada polimerização e à formação de polímeros de baixo peso molecular incapazes de estabelecer micro retenção efetiva, o que resulta em baixa resistência adesiva. A presença de grandes quantias de água residual também desfavorece a conversão dos monômeros, pois resulta em diluição dos monômeros hidrossolúveis (CADENARO *et al.*, 2009; ARGOLO *et al.*, 2012).

A perda de solvente também desfavorece a adequada infiltração dos monômeros no substrato. Este processo é imprescindível para o estabelecimento da adesão ao substrato, seja por método químico ou mecânico. O solvente é o responsável por reduzir a viscosidade da solução adesiva, tornando-a mais manipulável e mais suscetível a penetrar as porosidades criadas durante o condicionamento ácido na superfície do tecido. Após a aplicação, preconiza-se um período de 10 a 30 segundos para aplicação de jato de ar na camada adesiva com a finalidade de promover a evaporação do solvente, momento no qual ele conduz os monômeros para o interior dos tecidos e remove as partículas de água também por evaporação. Na sua ausência devido à evaporação prematura, estas funções não são estabelecidas e o processo de adesão é grandemente prejudicado (CHIMELI *et al.*, 2014; GIANNINI *et al.*, 2015; IRMAK *et al.*, 2016).

Os efeitos da ausência do solvente também podem ser observados no desempenho de adesivos formulados sem água ou qualquer solvente orgânico em sua composição. A finalidade destas apresentações comerciais é eliminar os problemas causados pela presença de solvente residual na camada adesiva. Entretanto, um estudo mostra que a resistência e selamento obtidos com este tipo de adesivo são inferiores aos proporcionados pelos adesivos com solventes (SHIRBAN; KHOROUSHI; SHIRBAN, 2013). Sendo assim, fica claro a importância do solvente no sucesso da técnica adesiva e a gravidade dos efeitos proporcionados pela evaporação prematura do adesivo.

A severidade dos impactos relacionados à evaporação prematura do solvente se relaciona também com a classe do sistema adesivo utilizado. Os adesivos autocondicionantes de 1 passo consistem em uma solução única, que possui ingredientes responsáveis pelas três etapas essenciais da adesão: *etching*, *priming* e *bonding*. Para tanto, é necessário uma fórmula mais complexa que encontre equilíbrio entre todos os componentes. Altas concentrações de solventes são observadas nesses produtos, o que pode tornar a evaporação prematura um problema ainda mais grave. Sendo assim, pequenos desequilíbrios e alterações na integridade da solução podem ser altamente prejudiciais no estabelecimento da adesão ao substrato dentário. Logo, quando na utilização de adesivos autocondicionantes de 1 passo, os cuidados por parte do profissional na prevenção da evaporação prematura devem ser redobrados (SHAFIEI; MEMARPOUR, 2009).

Por fim, dos treze estudos avaliados nesta revisão, apenas três se contrapuseram aos demais e não observaram efeitos significantes da evaporação prematura na evaporação do solvente ou integridade da camada adesiva. Howannaphakorn *et al.* (2006), Libóio-Lago e Bezerra (2009) e Santana *et al.* (2014) utilizaram sistemas adesivos convencionais de 2 passos com diferentes solventes, como acetona, etanol, água e terc-butanol.

Os resultados obtidos não apresentaram aumento nos níveis de microinfiltração ou perdas significativas na quantidade de solvente. Pongprueksa *et al.* (2014), por sua vez, reconheceram os efeitos da evaporação prematura na resistência adesiva apenas após perda de pelo menos 50% do solvente, o que levou pelo menos 5 dias para acontecer, e – segundo os autores – não consiste em uma situação clínica provável. Diversos fatores podem estar relacionados aos resultados destes estudos, como o *design* do frasco do sistema adesivo. Vários

dos autores citados ressaltaram que o frasco do adesivo é formulado buscando evitar a perda de grandes quantidades do adesivo, seja por manuseio inadequado ou por evaporação.

Outro notável fator foi exposto por Howannaphakorn *et al.* (2006): o recipiente no qual o adesivo fora despejado e mantido “exposto” permaneceu coberto. Obviamente, a evaporação do solvente não foi efetiva nesta metodologia. Ainda que não tenha fornecido informações sobre taxas de perda por evaporação, o estudo mostra que manter a solução adesiva em um recipiente que não seja o frasco original, porém devidamente fechado, não reduz de forma significativa o conteúdo volátil. Logo, é possível afirmar que ferramentas auxiliares nos procedimentos adesivos – como pote dappen com tampa – se mostram como bons aliados em casos de uso compartilhado do adesivo, como em clínicas-escola, de maneira a evitar perda do solvente e comprometimento da capacidade adesiva.

Diante do exposto, fica clara a influência do solvente no estabelecimento de uma boa adesão ao substrato dentário. Esclarece-se também que o uso repetido, a abertura constante e/ou o inadequado manuseio e armazenamento dos frascos podem levar a perdas significativas de solvente e à redução da resistência adesiva. Entretanto, fatores como o tipo de solvente e os demais compostos do adesivo também influenciam nesse processo. Logo, os profissionais devem estar atentos a estas características para evitar situações que favoreçam a perda do solvente por evaporação e o comprometimento do sistema adesivo.

5 CONCLUSÃO

Diante do exposto, é possível concluir que o uso repetido e a abertura prolongada dos frascos podem levar à perda de quantidades significativas de solvente por evaporação e a perda pode resultar em redução da resistência adesiva ao substrato dentário. Os sistemas adesivos à base de solventes orgânicos, em especial aqueles à base de acetona, são os mais vulneráveis à exposição devido à alta capacidade volátil da acetona. Adesivos autocondicionantes de 1 passo podem ser mais sensíveis à perda devido à complexidade de sua formulação e ao prejuízo que alterações, ainda que pequenas, podem exercer na integridade da solução.

Como forma de contornar essas situações, é importante que os profissionais se mantenham atentos à composição, apresentação e manuseio dos sistemas adesivos, priorizem a utilização imediata da solução logo após o seu despejo e mantenham o frasco fechado quando ele não estiver sendo manuseado. Armazenar sob refrigeração também favorece a estabilidade química da solução, tornando o seu comportamento menos crítico quando exposto e aumentando a vida útil do produto. Por fim, é fundamental seguir as orientações e protocolos estabelecidos pelos fabricantes.

ABSTRACT

Dental adhesives are materials of great value for the Dentistry clinical practice. The solvent is an extremely important element in its constitution, so it's necessary to respect its characteristics when designing and executing the operational protocols. However, it is customary for professionals to keep the adhesive bottle open between applications, which favors solvent evaporation. Therefore, the aim of this study is to review, through the scientific literature, the effects of repeated use and prolonged opening of adhesive bottles on solvent evaporation and bond strength; which have great clinical and scientific relevance, once it allows to understand the bonding process under different situations. A bibliographic search was carried out on the websites and databases PubMed, Portal da BVS, MEDLINE, LILACS, BIREME and SciELO, having as inclusion criteria in vitro studies, with commercial adhesives, published as papers, in Portuguese and English, within the last two decades (1999 to 2019). Repeated use and prolonged opening of the adhesive bottles can lead to solvent loss through evaporation and

result in reduced adhesive resistance to the dental substrate. Organic solvent-based adhesives, especially acetone, are the most vulnerable to exposure due to their high volatile capacity. Storing the adhesives under refrigeration, using the substance immediately after its dispense and following the manufacturer's instructions are fundamental measures for preserving the integrity of the adhesive solution and obtaining good clinical results.

Keywords: Dentin-Bonding Agents. Evaporation. Solvents.

REFERÊNCIAS

- ABATE, P. F.; RODRIGUEZ, V. I.; MACCHI, R. L. Evaporation of solvent in one-bottle adhesives. **Journal of Dentistry**, v. 28, n. 6, p. 437-440, ago. 2000.
- ABDUSSAMAD, J. Y. *et al.* The effect of storage and air-drying on solvent evaporation of three different one-bottle adhesive systems: a comparative in-vitro study. **Journal of International Oral Health**, v. 4, n. 3, p. 35-44, set./dez. 2012.
- AKTERIAN, S. Evaluating the vapour evaporation from the surface of liquid pure organic solvents and their mixtures. **Food Science and Applied Biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 77-84, 2020.
- ARGOLO, S. *et al.* Effect of increased dwell times for solvent evaporation on the bond strength and degree of conversion of an ethanol-based adhesive system. **Acta Odontológica Latinoamericana**, v. 25, n. 1, p. 109-113, ago. 2012.
- BERSEZIO, C. *et al.* Influence of the Passive Evaporation of adhesive on the conductance of dentin. **Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral**, v. 10, n. 1, p. 38-40, 2017.
- BOSSARDI, M. *et al.* One-year bonding performance of one-bottle etch-and-rinse adhesives to dentin at different moisture conditions. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 32, n. 6, out. 2019.
- BRESCHI, L. *et al.* Dentin bonding systems: From dentin collagen structure to bond preservation and clinical applications. **Dental Materials**, v. 34, n. 1, p. 78-96, jan. 2018.
- CADENARO, M. *et al.* Effects of residual ethanol on the rate and degree of conversion of five experimental resins. **Dental Materials**, v. 25, n. 5, p. 621-628, maio 2009.
- CHEN, C. *et al.* Bonding of universal adhesives to dentine – Old wine in new bottles? **Journal of Dentistry**, v. 43, n. 5, p. 525-536, mai. 2015.
- CHIMELI, T. B. C. *et al.* Effects of solvent evaporation on water sorption/solubility and nanoleakage of adhesive systems. **Journal of Applied Oral Science**, vol. 22, n. 4, p. 294-301, 2014.
- EMAMIEH, S. *et al.* Effects of solvent drying time and water storage on ultimate tensile strength of adhesives. **Journal of Investigative and Clinical Dentistry**, vol. 5, p. 51-57, 2014.
- FU, J. *et al.* The effect of air-blowing duration on all-in-one systems. **Dental Materials Journal**, v. 31. n. 6, p. 1075–1081, 2012.
- GARCIA, F. C. P.; TERADA, R. S. S.; CARVALHO, R. M. Testes mecânicos para a avaliação laboratorial da união resina/dentina. **Revista da Faculdade de Odontologia de Bauru**, v. 10, n. 3, p. 118-127, 2002.
- GIANNINI, M. *et al.* Self-Etch Adhesive Systems: A Literature Review. **Brazilian Dental Journal**, vol. 26, n. 1, p. 3-10, 2015.

HOWANNAPHAKORN, T. Effects of Acetone Evaporation Duration of Dentin Bonding Agent on Microleakage. **Naresuan University Journal**, v. 14, n. 2, p. 23-26, 2006.

IKEDA, T. *et al.* Effect of evaporation of primer components on ultimate tensile strengths of primer–adhesive mixture. **Dental Materials**, v. 21, n. 11, p. 1051-1058, nov. set. 2005.

IRMAK, Ö. *et al.* Solvent type influences bond strength to air or blot-dried dentin. **BMC Oral Health**, v. 16, n. 1, p. 1-6, ago. 2016.

IRMAK, Ö. *et al.* Solvent type influences bond strength to air or blot-dried dentin. **BMC Oral Health**, v. 16, n. 1, p. 1-6, ago. 2016.

ITOH, S. *et al.* Dentin bond durability and water sorption/solubility of one-step self-etch adhesives. **Dental Materials**, v. 29, n. 5, p. 623–630, 2010.

KAMEYAMA, A. *et al.* Influence of solvent evaporation on ultimate tensile strength of contemporary dental adhesives. **Applied Adhesion Science**, v. 7, n. 4, jun. 2019.

KLEIN-JÚNIOR, C. A. *et al.* Evaporating solvents with a warm air-stream: Effects on adhesive layer properties and resin–dentin bond strengths. **The Journal of Dentistry**, v. 36, n. 8, p. 618-625, ago. 2008.

KOLINIOTOU-KOUMPIA, E. *et al.* Shear bond strength of a "solvent-free" adhesive versus contemporary adhesive systems. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, v. 13, n. 1, p. 64-69, 2014.

LIBÓRIO-LAGO, C. C.; BEZERRA, R. B. Influência do tempo de abertura dos frascos de sistemas adesivos na microinfiltração marginal em restaurações de resina composta. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, Salvador, v. 8, n. 2, p. 162-170, mai./ago. 2009.

LIMA, F. G. *et al.* One-bottle adhesives: in vitro analysis of solvent volatilization and sealing ability. **Brazilian Oral Research**, v. 19, n. 4, p. 278-283, 2005.

MARSIGLIO, A. A. *et al.* Bonding to dentin as a function of air-stream temperatures for solvent evaporation. **Brazilian Oral Research**, vol. 26, n.3, p. 282-7, mai./jun. 2017.

MÜNCHOW, E. A. *et al.* Influence of surface moisture condition on the bond strength to dentin of etch-and-rinse adhesive systems. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, v. 13, n. 3, p. 182-186, jul. 2014.

NIHI, F. M. *et al.* In Vitro Assessment of Solvent Evaporation from Commercial Adhesive Systems Compared to Experimental Systems. **Brazilian Dental Journal**, v. 20, n. 5, p. 396-402, 2009.

PERDIGÃO, J.; SWIFT JR., E. J.; LOPES, G. C. Effects of repeated use on bond strengths of one-bottle adhesives. **Quintessence international**, v. 30, n. 12, p. 819-23, jan. 2000.

PONGPRUEKSA, P. *et al.* Effect of Evaporation on the Shelf Life of a Universal Adhesive. **Operative Dentistry**, v. 39, n. 4, p. 500-507, 2014.

SAKAGUCHI, R.L; POWERS, J.M. **Craig Materiais Dentários Restauradores**. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

SANTANA, M. L. C. *et al.* Does Maintaining a Bottle of Adhesive Without the Lid Significantly Reduce the Solvent Content? **Brazilian Dental Journal**, v. 25, n. 6, p. 543-545, 2014.

SHAFIEI, F.; MEMARPOUR, M. Effect of repeated use on dentin bond strength of two adhesive systems: All-in-one and one-bottle. **Indian Journal of Dental Research**, v. 20, n. 2, p. 180-184, jun. 2009.

SHIRBAN, F.; KHOROUSHI, M.; SHIRBAN, M. A New Solvent-free One-Step Self-Etch Adhesive: Bond Strength to Tooth Structures. **The Journal of Contemporary Dental Practice**, v. 14, n. 2, p. 269-274, jul. 2013.

SOUSA JÚNIOR, J. A. de *et al.* Effects of solvent volatilization time on the bond strength of etch-and-rinse adhesive to dentin using conventional or deproteinization bonding techniques. **Restorative Dentistry & Endodontics**, vol. 40, n.3, p.202-208, ago. 2015.

VAN LANDUYT, K. L. *et al.* Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. **Biomaterials**, v. 28, n. 26, p. 3757-3785, set. 2007.

VAN MEERBEK, B. *et al.* From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology. **The Journal of Dentistry**, v. 22, n. 1, p. 7-34, 2020.

WAMBIER, L. *et al.* Effects of Prolonged Light Exposure Times on Water Sorption, Solubility and Cross-linking Density of Simplified Etch-and-Rinse Adhesives. **The Journal of Adhesive Dentistry**, v. 15, n. 3, p. 229-234, 2014.

WYPYCH, G. Solvents use in various industries. In: WYPYCH, G. *et al.* **Handbook of Solvents**. 3. ed. Toronto: ChemTec Publishing, 2019. cap. 13, p. 902-915.

YEVENES, I. *et al.* Chemical stability of two dentin single-bottle adhesives as a function of solvent loss. **Revista Odonto Ciência**, v. 23, n. 3, p. 220-224, 2008.