

**A INFLUÊNCIA DA SORÇÃO E SOLUBILIDADE NAS PROPRIEDADES DOS
COMPÓSITOS RESINOSOS: uma revisão de literatura**
*THE INFLUENCE OF SORPTION AND SOLUBILITY ON THE PROPERTIES OF RES-
IN COMPOSITES: a literature review*

Recebido em: 16/11/2021

Aceito em: 03/05/2022

DOI: 10.47296/salusvita.v41i01.135

LAYLA NARRELY SANTOS ALVES¹

MARCELO GADELHA VASCONCELOS²

RODRIGO GADELHA VASCONCELOS³

¹ Graduanda em Odontologia pela Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Araruna-PB, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7497-3361>.

² Professor Doutor efetivo da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Araruna-PB, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0396-553X>.

³ Professor Doutor efetivo da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Araruna-PB, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7890-8866>.

Autor correspondente:

RODRIGO GADELHA VASCONCELOS

E-mail: rodrigogadelhavasconcelos@yahoo.com.br

A INFLUÊNCIA DA SORÇÃO E SOLUBILIDADE NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS RESINOSOS: uma revisão de literatura
THE INFLUENCE OF SORPTION AND SOLUBILITY ON THE PROPERTIES OF RESIN COMPOSITES: a literature review

RESUMO

Introdução: A resina composta tem sido amplamente utilizada por suas propriedades restauradoras. No entanto, quando exposta à água, o material resinoso sofre diferentes mecanismos químicos e físicos, como a sorção de água e solubilidade. Esses efeitos podem produzir alterações volumétricas e mudanças físicas, alterando as características do material. **Objetivo:** Discorrer acerca das consequências clínicas dos fenômenos de sorção e solubilidade na resina composta. **Materiais e Métodos:** Uma revisão da literatura foi realizada por meio de artigos científicos publicados nos últimos anos, presentes em bases de dados eletrônicas como PubMed/Medline, Lilacs e Scielo. **Resultados e Discussão:** Os compósitos de resina não são estáveis, pois interagem constantemente com o ambiente oral. Sua principal interação é com água, que se difunde na matriz. As resinas compostas que contêm, além do BIS-GMA, uma alta concentração de TEGDMA, tendem a absorver mais água devido às ligações éter hidrofílicas presentes nesses compósitos. Com isso, uma série de efeitos deletérios podem ocorrer. **Conclusão:** A expansão volumétrica, a lixiviação, a degradação hidrolítica e a instabilidade da cor são as principais consequências da sorção e solubilidade da resina composta. Esses fenômenos provocam alterações dimensionais e diminuição das propriedades mecânicas repercutindo, sobremaneira, na longevidade das restaurações em resina composta.

Palavras-chave: Resina Composta. Solubilidade. Sorção.

ABSTRACT

Introduction: Resin Composite has been widely used for its restorative properties. However, when exposed to water, the resin material undergoes different chemical and physical mechanisms, such as water sorption and solubility. These effects can produce volumetric and physical changes, altering the material's characteristics. **Objective:** To discuss the clinical consequences of the sorption and solubility phenomena in composite resin. **Materials and Methods:** A literature review was performed using scientific articles published in recent years on electronic databases such as PubMed/Medline, Lilacs, and Scielo. **Results and Discussion:** Resin composites are not stable, as they constantly interact with the oral environment. Their main interaction is with water, which diffuses into the matrix. Resin Composites that contain, in addition to BIS-GMA, a high concentration of TEGDMA, tend to absorb more water due to the hydrophilic ether bonds present in these composites. Thus, a series of deleterious effects can occur. **Conclusion:** Volumetric expansion, leaching, hydrolytic degradation, and color instability are the main consequences of Resin Composite sorption and solubility. These phenomena cause dimensional changes and a decrease in mechanical properties, which have a major impact on the longevity of Resin Composite restorations.

Keywords: Resin Composite. Solubility. Sorption.

INTRODUÇÃO

A resina composta é o material de escolha para os diversos procedimentos restauradores diretos e indiretos. Não são apenas as propriedades estéticas o único motivo para o frequente uso das resinas compostas, mas também a capacidade adesiva que possuem, permitindo a preservação da estrutura dentária sadia, além de promoverem a reprodução natural do dente, ao mimetizar cor e anatomia dos dentes, dispensando, por vezes, etapas laboratoriais de execução (GÜMÜŞTAŞ; EFES, 2018; PORTO; ALMEIDA, 2013). Desde sua introdução no início da década de 60 por Bowen até os dias atuais, as resinas compostas aprimoraram, significativamente, suas propriedades mecânicas e químicas (SCHMITT *et al.*, 2011). Contudo, apesar de todas as modificações ocorridas, os compósitos resinosos são suscetíveis a vários tipos de degradação química na cavidade oral, o que, muitas vezes, influencia, de forma irreversível, as propriedades do material (MATUMOTO *et al.*, 2018).

O compósito resinoso é constituído de uma matriz orgânica e partículas inorgânicas, as quais são quimicamente interligadas por um agente de união denominado silano (PORTO; ALMEIDA, 2013). Na matriz orgânica, o dimetacrilato de bisfenol A glicol (Bis-GMA) e o dimetacrilato de trietileno glicol (TEGDMA) são as combinações de monômeros mais frequentemente utilizadas. Dentre esses monômeros, o TEGMA é o que apresenta maior hidrofília e maior capacidade de sorção (D'ALPINO, 2009; SCHMITT *et al.*, 2011). Quando exposto à água, o material resinoso sofre diferentes mecanismos químicos e físicos, dentre os quais se podem observar a sorção de água e a solubilidade. Esses efeitos podem incluir mudanças volumétricas, como a expansão higroscópica; mudanças físicas, como plastificação e amolecimento, e mudanças químicas, como oxidação e hidrólise (FERRACANE, 2006).

O mecanismo de sorção de água ocorre pela natureza hidrofílica das unidades monoméricas que compõem o compósito resinoso, ou seja, na fração orgânica da resina, proporcionando ruptura da união das partículas de carga e matriz resinosa (ANFE; AGRA; VIEIRA, 2011). Essa ação pode resultar na degradação hidrolítica, reduzindo as propriedades mecânicas do material, devido à hidrólise do silano que reveste e une as cargas inorgânicas à matriz orgânica, e/ou através da formação de trincas que representam a ruptura das cadeias poliméricas (ANFE; AGRA; VIEIRA, 2011; NOORT, 2007; PORTO; ALMEIDA, 2013).

Durante a sorção, pode ocorrer a absorção de água, ou seja, uma substância é embebida por outra, ocasionando mudança de volume; ou adsorção de água, em que uma substância fica retida na superfície de outra, porém, sem fazer parte de seu volume (SOKOLOWSKI *et al.*, 2018). A solubilidade, por sua vez, consiste na liberação de produtos residuais, como monômeros não reagidos e lixiviados, podendo causar prejuízos na função e na longevidade das restaurações (ARREGUI *et al.*, 2016; CARDOSO, 2018; GÜMÜŞTAŞ; EFES, 2018; PORTO; ALMEIDA, 2013; SCHMITT *et al.*, 2011).

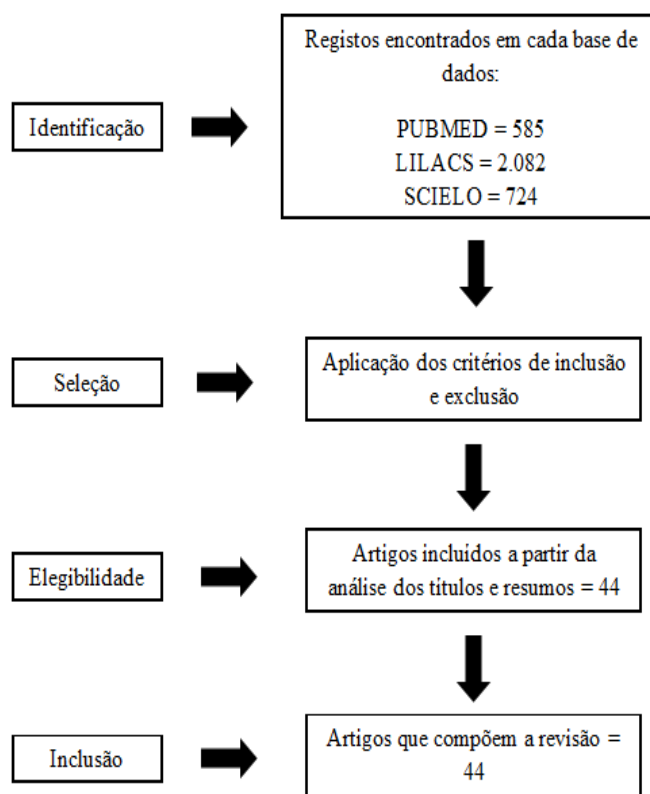
Somado a isso, a difusão de água na matriz orgânica da resina pode provocar um fenômeno conhecido como expansão higroscópica (GÜMÜŞTAŞ; EFES, 2018; SCHMITT *et al.*, 2011). A água ocasiona um aumento do volume e do peso do material resinoso. Inicialmente, essa expansão pode ser benéfica para a resina composta, pois compensaria os efeitos da contração de polimerização, aumentando o selamento marginal. Porém, uma vez que a contração de polimerização ocorre em poucos segundos, a sorção de água pode ocorrer em dias ou até semanas, não sendo, portanto, efetiva no relaxamento proporcional à contração (PETROPOULOU *et al.*, 2015; REIS e LOGUERCIO, 2021; SCHMITT *et al.*, 2011). Nesse contexto, a expansão higroscópica pode causar deterioração das propriedades mecânicas dos polímeros, como o módulo de elasticidade, a resistência ao escoamento, além de produzir mudanças nos mecanismos de escoamento/deformação (HASANI *et al.*, 2018).

Ante o exposto, o presente estudo tem como objetivo analisar e discorrer sobre a sorção e a solubilidade à água das resinas compostas, através de uma revisão de literatura, a fim de saber quais as repercussões clínicas, como evitar ou amenizar tais efeitos e, além disso, observar quais resinas sofrem maior influência desses fenômenos.

MATERIAL E MÉTODO

Esta revisão literária foi elaborada mediante uma busca dos estudos disponíveis nas bases de dados eletrônicas PubMed/Medline, Lilacs e Scielo, publicados nos últimos anos. Os descritores empregados para a filtragem dos artigos foram os seguintes: “sorção” (*sorption*), “expansão higroscópica” (*hygroscopic expansion*), “solubilidade” (*solubility*), “lixiviação” (*leaching*), “degradação hidrolítica” (*hydrolytic degradation*), “absorção” (*absorption*), “adsorção” (*adsorption*) e “resina composta” (*composite resin*). Para a filtragem dos artigos específicos ao tema, foram utilizados os operadores booleanos “AND” e “OR”. O fluxograma (Figura 1) a seguir descreve resumidamente o processo de seleção dos artigos:

Figura 1 - Fluxograma de seleção dos artigos científicos.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

Além disso, foi realizada uma busca manual nas referências dos artigos incluídos. Para a inclusão dos artigos, foram considerados os estudos que apresentavam disponibilidade do texto completo, que se enquadravam no enfoque do estudo, escritos em inglês, espanhol ou português e que possuíam detalhamento metodológico. Com isso, foram dispensados os estudos que não seguiam tais critérios.

REVISÃO DE LITERATURA

1. RESINA COMPOSTA

A resina composta é um material odontológico amplamente utilizado devido a sua grande variedade de aplicações clínicas, seja como material restaurador, restaurações indiretas, revestimentos de metais para pinos endodônticos e núcleos, além de outros (NOORT, 2007). Esse material possui três componentes básicos: uma matriz resinosa orgânica, partículas de carga inorgânica e um agente de cobertura. A matriz resinosa tem em sua composição os monômeros, o mais usado, tanto em resinas anteriores quanto em posteriores, é o Bis-GMA, decorrente da reação do bisfenol-A e do glicidil metacrilato. As cargas, por sua vez, são adicionadas nos compósitos com o intuito de melhorar suas propriedades mecânicas, estéticas e redução da contração de polimerização, podendo ser de quartzo, sílica

coloidal e partículas de vidro. Com isso, carga e matriz são unidas quimicamente por um agente de união, o silano, o qual promove um aumento da resistência ao desgaste (NOORT, 2007).

Dentre as diversas vantagens da resina, as que se destacam para os procedimentos restauradores são os preparos ultraconservadores e a adesão às estruturas dentárias, bem como uma boa resistência mecânica, o que a possibilita de ser utilizada em áreas onde há maior concentração de carga, além de possuir ótimas propriedades estéticas (ARREGUI *et al.*, 2016). Entretanto, são materiais que, apesar da evolução ao longo dos anos, ainda possuem desvantagens consideráveis, como a contração de polimerização, infiltração e descoloração marginal, susceptibilidade a sorção e solubilidade ao entrar em contato com a água (NOORT, 2007; ARREGUI *et al.*, 2016).

A resistência à degradação no meio bucal é essencial para a longevidade das restaurações de resina composta. Sob esse ponto de vista, é fundamental compreender os fenômenos de absorver e liberar água, a fim de prever o comportamento de restaurações de resina composta (DA SILVA *et al.*, 2008). No ambiente oral úmido, as resinas compostas podem entrar em contato com a água ou outras substâncias, favorecendo a sorção e a solubilidade (ARREGUI *et al.*, 2016). Esses efeitos podem incluir modificação volumétrica como expansão higroscópica, alterações físicas como plastificação e alterações químicas como a hidrólise (ANFE; AGRA; VIEIRA, 2011). Segundo a norma 4049 da ISO16, para que as resinas compostas possam ser indicadas como materiais restauradores, devem apresentar sorção de água menor que $40 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ e solubilidade menor que $7,5 \mu\text{g}/\text{mm}^3$ para um período de armazenamento de 7 dias.

2. PROPRIEDADES FÍSICAS DA RESINA COMPOSTA

2.1 Sorção

A sorção de água por resinas compostas é um processo de difusão controlada, sendo causada pela separação das cadeias poliméricas por uma molécula que não forma ligações químicas primárias com a cadeia, o que pode gerar a degradação química do material, ocasionando diversos inconvenientes (CARVALHO *et al.*, 2012; LOPES *et al.*, 2009; DA SILVA *et al.*, 2008).

Ao sofrer o processo de sorção de água, os compósitos podem absorver ou adsorver essa água (NOORT, 2007). Na absorção, observa-se a incorporação da água, em que valores muito elevados desse processo podem indicar que, possivelmente, o material tenha uma fração solúvel elevada, ou seja, devido a uma polimerização deficiente e incompleta, a resina pode conter bolhas de ar, deixando espaço disponível para a água penetrar. Já a

adsorção ocorre pela adesão das moléculas de água na superfície do compósito resinoso, podendo ser provocada pela quebra hidrolítica da união entre a carga e a resina, permitindo adsorção sobre a superfície das partículas de carga (NOORT, 2007).

Esse processo de sorção ocorre na fração orgânica da resina e parece estar relacionado ao seu potencial de hidrofilicidade e à composição química das partículas de carga. Assim, a cinética desse fenômeno pode ser mais lenta ou mais rápida para algumas resinas, a depender de sua composição. Ou seja, a natureza hidrofílica do polímero que compõe a matriz polimérica influencia para a reação ocorrer, uma vez que é a matriz orgânica que interage com a água (ANFE; AGRA; VIEIRA, 2011; ARREGUI *et al.*, 2016; BERGER *et al.*, 2009). Dessa forma, são monômeros resinosos que irão receber as ligações cruzadas durante a polimerização, conferindo resistência ao material (BOCIONG *et al.*, 2017).

Existem no mercado resinas com monômeros de alto peso molecular que, portanto, são bastante viscosos, como o Bis-GMA, Bis-EMA e UDMA (BOCIONG *et al.*, 2017; PODGÓRSKIA *et al.*, 2015). Por esse motivo, foram adicionados monômeros diluentes com o intuito de tornar o material fluido, como o MMA (metil metacrilato), TEGDMA (etileno glicol dimetacrilato) ou EGDMA (trietileno glicol dimetacrilato), os quais são de baixo peso molecular e apresentam baixa viscosidade (BOCIONG *et al.*, 2017; PODGÓRSKIA *et al.*, 2015). As resinas compostas, portanto, que são constituídas em sua maior parte de monômeros com baixo peso molecular terão maior capacidade de sofrer os efeitos de sorção e solubilidade, assim como as consequências advindas desses efeitos (ANFE; AGRA; VIEIRA, 2011; GAJEWSKI *et al.*, 2012).

2.2 Solubilidade

Ao entrar em contato com a água, a resina composta pode sofrer movimentação externa dos monômeros residuais e de íons ocasionando a solubilidade (FERRACANE, 2006; SCHMITT *et al.*, 2011). Dessa forma, a solubilidade dos compostos de resina consiste na liberação de produtos residuais, sendo refletida pela quantidade de monômeros lixiviáveis que não reagiram, o que causa uma redução no volume (ARREGUI *et al.*, 2016; DA SILVA *et al.*, 2008). Durante a polimerização, esses monômeros que não reagiram alteram a microestrutura da matriz, criando espaços vazios propícios para a formação de microfraturas (ARREGUI *et al.*, 2016; DA SILVA *et al.*, 2008). Com isso, esse fenômeno produz diminuição do peso, permitem a descoloração da resina, tem efeito significativo no sucesso clínico do material restaurador, influenciando na aparência estética, integridade e propriedades da superfície (CARDOSO, 2018).

Em um estudo realizado por Matick *et al.* (2019), os autores discutiram a sorção e a solubilidade em água de uma resina microhíbrida, a Z100™ (3M ESPE. Minnesota, USA), composta por Bis-GMA e TEGDMA. Os espécimes confeccionados foram imersos na água

destilada, sendo armazenados com 7 e 30 dias. Os resultados obtidos foram que o material, tanto para a sorção quanto para a solubilidade, não apresentou diferenças significativas no período de armazenamento. Concluindo que tais resultados estão de acordo com a ISSO 4049 2009, a qual define que os valores de sorção e solubilidade para um material de base polimérica devem ser menores ou iguais a $40 \mu\text{g}/\text{mm}^3$.

Schmitt *et al.* (2011) estudaram a sorção e a solubilidade de uma resina composta nanoparticulada em três meios líquidos diferentes: água destilada, Coca-Cola® e etanol/água a 75%, em função de dois períodos de armazenamentos: 7 e 15 dias. Foram confeccionados 30 espécimes, acondicionados em sílica gel azul, desidratada a 37°C , por 24 horas. Os dados de sorção e solubilidade foram calculados e submetidos à análise estatística. A resina nanoparticulada mostrou-se resistente à degradação química em meio ácido e em meio aquoso, mas foi suscetível à degradação, quando imerso em solução de etanol/água a 75%, apresentando solubilidade, sem diferença estatística entre os períodos de armazenamento.

Em outro trabalho, de Anfe, Angra e Vieira (2011), os autores avaliaram que a resina Filtek Z250™ (3M ESPE, Minnesota, USA) foi o material que apresentou menor sorção e solubilidade em solução de etanol e não apresenta TEGDMA em sua composição. A elevada sorção e solubilidade do TEGDMA ocorrem devido aos grupos hidroxila e ligações éter presentes, respectivamente, nesses monômeros.

Com isso, uma resina que apresenta maior quantidade de matriz orgânica possui mais chance de sofrer por esses fenômenos, visto que a captação de água ocorre principalmente na matriz de resina. Em contrapartida, quando possuem mais partículas de carga em sua composição menor é a sorção de água e demais efeitos deletérios (ARREGUI *et al.*, 2016). Portanto, a quantidade de sorção e solubilidade de água depende do conteúdo de resina do compósito e da qualidade de união entre a resina e a carga (NOORT, 2007).

2.3 Correlação entre Sorção e Solubilidade

A medida de solubilidade dos materiais resinosos reflete a quantidade de monômeros residuais liberados para a água, além de outras substâncias de baixo peso molecular, bem como elementos das partículas de carga e fotoiniciadores (PORTO; ALMEIDA, 2013). Espera-se que os resultados de solubilidade de uma resina composta estejam relacionados aos de sorção da mesma resina, pois o solvente precisa penetrar no polímero para que os componentes lixiviáveis possam ser liberados para o exterior do material. Entretanto, outros fatores, como o grau de conversão e a densidade da rede de ligações cruzadas, podem ter maior importância na correlação sorção/solubilidade (PORTO; ALMEIDA, 2013).

Uma vez que a sorção garante o aumento de massa, o processo de solubilidade promove a perda de massa, como consequência, há uma diminuição na estabilidade da cor,

causando susceptibilidade a pigmentação dentária (PORTO e ALMEIDA, 2013). Outras repercussões clínicas podem acontecer nesses fenômenos, como alterações dimensionais nos materiais, afetando suas propriedades mecânicas, alterar a biocompatibilidade, visto que os componentes liberados podem afetar as células pulpares. Logo, esses efeitos contribuem na diminuição da durabilidade das resinas compostas, favorecem a formação de microfendas e afetam diretamente a longevidade das restaurações (CARVALHO *et al.*, 2012; PORTO e ALMEIDA, 2013).

3. CONSEQUÊNCIAS DOS FENÔMENOS DE SORÇÃO E SOLUBILIDADE NA RESINA COMPOSTA

3.1 Degradação Hidrolítica

Quanto à sorção e à solubilidade, são particularmente observadas consequências que podem levar a um significativo desgaste da resina composta (GUSMÃO *et al.*, 2013). Esses fenômenos causam a degradação hidrolítica da ligação do agente de ligação, o silano, na interface entre a matriz e a partícula (GUSMÃO *et al.*, 2013).

A degradação hidrolítica da cadeia polimérica, através da ação das moléculas de água, é resultado de qualquer quebra de ligações químicas na resina ou amolecimento através da ação plastificante da água (ANFE; AGRA; VIEIRA, 2011). Esse fenômeno produz a separação da cadeia polimérica devido à difusão de solventes através dela, reduzindo, desta forma, a interação entre as cadeias e a formação de ligações cruzadas, enfraquecendo o material (BALBINOT, 2015; IMBERRY *et al.*, 2014).

Inicialmente, pode haver um amolecimento da matriz orgânica pela solubilização de monômeros insaturados ou pela quebra de ligações químicas das macromoléculas, resultando em maiores taxas de deslizamento entre as cadeias poliméricas (VAN DE SANDE *et al.*, 2015).

Em uma próxima etapa, a hidrólise ou hidratação das ligações de siloxano da camada de silano ocorrerá devido à degradação das ligações matriz-carga; rachaduras superficiais ou internas e porosidade que facilitariam o acesso da água a essa interface (PANAHANDERH *et al.*, 2017). Finalmente, pode haver solubilização das partículas pela liberação de íons dos componentes (MANOJLOVIC *et al.*, 2016; HASANI *et al.*, 2018) e a presença de outros solventes, lubrificantes, eletrólitos ou enzimas (IMBERRY *et al.*, 2014).

A redução nas propriedades mecânicas devido à degradação das interfaces da matriz e partículas promove a plastificação da resina (PANAHANDERH *et al.*, 2017). Sendo assim, com esse efeito é possível observar a dilatação e a propagação de trincas na matriz resinosa e colapso do agente de união, promovendo a perda de componentes, como monômeros, e lixiviação das partículas de carga, influenciando diretamente na sobrevida da restauração, o que afeta o seu uso clínico (BALBINOT, 2015; IMBERRY *et al.*, 2014).

3.2 Lixiviação

A lixiviação consiste na liberação de componentes químicos dos materiais, podendo ocorrer devido a degradação e/ou erosão (REIS e LOGUERCIO, 2021). Esses subprodutos, em contato com os tecidos, podem desencadear processos irritativos ou inflamatórios. A degradação caracteriza-se pela quebra de moléculas químicas complexas em moléculas menores, levando o material a perda de suas propriedades, já a corrosão é o processo pelo qual o material perde parte de sua estrutura, podendo ocorrer por fatores químicos, mecânicos e/ou térmicos (ESPÍNDOLA-CASTRO *et al.*, 2020). Mesmo diante desses processos, a resposta biológica depende da composição do material, da quantidade e de seu contato com os tecidos (ESPÍNDOLA-CASTRO *et al.*, 2020; REIS e LOGUERCIO, 2021).

Durante a sorção de água, ocorre a liberação de monômeros residuais solúveis e íons, tal processo é chamado de lixiviação (ESPÍNDOLA-CASTRO *et al.*, 2020). Ela é responsável pela contração adicional da resina e pelo aparecimento de porosidades internas (ARCHEGAS, 2005; REIS e LOGUERCIO, 2021). Não obstante, uma polimerização inadequada do compósito pode tornar o material mais susceptível à sorção e ao efeito plastificador exercido pela água, levando à lixiviação dos monômeros não reagidos e à degradação do material a curto ou longo prazo (FERRACANE, 2006; REIS e LOGUERCIO, 2021).

3.3 Expansão Higroscópica

Outro fator que pode ocorrer com os materiais resinosos ao absorver água é a expansão volumétrica, a chamada expansão higroscópica, fazendo com que os compósitos inchem, causando então, o aumento do seu volume (SUITER *et al.*, 2016). Esses efeitos ocorrem devido à água se difundir na rede de polímeros da resina e separar suas cadeias, gerando a expansão (BORGES, 2014). A razão e a quantidade da expansão higroscópica de polímeros compostos dependem de vários fatores, como a natureza da resina, o tipo de carga, a adesão entre a carga e a matriz orgânica e a razão volumétrica entre a carga inorgânica e a matriz orgânica (FLOYD e DICKENS, 2006).

Alguns autores enfatizam que a expansão higroscópica em um compósito pode ter consequências clínicas benéficas, pois seria um efeito compensatório à contração de polimerização, o que poderia melhorar o selamento marginal da restauração e também contribuir para o relaxamento da tensão gerada durante a contração de polimerização (ARCHEGAS, 2005; BOCIONG *et al.*, 2017). A polimerização de compósitos dentais é acompanhada por uma contração volumétrica, causando o desenvolvimento de tensões internas. As resinas compostas da atualidade, após a polimerização, perdem entre 2% e 3% de todo o seu volume (BOCIONG *et al.*, 2017). As tensões são exercidas nas margens imperfeitas formadas em torno das restaurações, levando a redução de sua vida útil (ARCHEGAS, 2005; BOCIONG *et al.*, 2017).

Entretanto, esse fenômeno de expansão higroscópica é insuficiente para compensar a contração de polimerização, visto que o estresse de contração ocorre em pouco tempo e a sorção de água em dias ou até semanas, não sendo, portanto, efetivo no equilíbrio da contração (ANFE; AGRA; VIEIRA, 2011; FERRACANE, 2006). A expansão higroscópica pode interferir diretamente na dispersão e na reflexão da luz pelo material. Essas mudanças podem, ainda, causar efeitos indesejáveis, incluindo o amolecimento da matriz da resina, a degradação da resina, susceptibilidade ao manchamento e o estresse interno (HASANI *et al.*, 2018).

Sokolowski *et al.* (2018) realizaram um estudo para verificar a influência da sorção de água em materiais poliméricos sobre a tensão de contração na interface dente-restauração. Foram analisados diferentes tipos de materiais poliméricos. Os resultados gerais indicaram que os materiais restauradores testados apresentaram diminuição significativa da tensão de contração após a sorção de água. Ou seja, compensou a tensão de contração pela expansão higroscópica. Entretanto, não foi observada redução total do estresse de contração para materiais com baixo valor de sorção de água, como na resina Bulk Fill.

Hasani *et al.* (2018) observaram em seu estudo a expansão higroscópica do compósito Bulk-Fill. As resinas testadas foram a Tetric N-Ceram Bulk Fill® (TB) (Ivoclar Vivadent) e Tetric N-Ceram® (TN) (Ivoclar Vivadent), em um período de 24 horas e 2 semanas. Com isso, houve diferença significativa entre TN e TB com 4mm de espessura ($p=0,007$ e $p=0,023$, respectivamente). Concluindo, portanto, que a expansão higroscópica foi afetada pelo tipo de compósito e pelo tempo.

3.4 Instabilidade da Cor

A sorção de fluidos pelo compósito pode tornar o material mais susceptível à instabilidade de cor, uma vez que os corantes presentes nos fluidos são absorvidos. Os monômeros lixiviados alteram a microestrutura da matriz, criando vazios e formações de microfissuras, as quais permitem a descoloração (ARREGUI *et al.*, 2016). A alteração de cor das resinas compostas é um fenômeno multifatorial e pode ser causado por fatores extrínsecos e intrínsecos (D'ALPINO, 2009; FERRACANE, 2006). Os fatores intrínsecos envolvem alteração da matriz resinosa causada pela oxidação da amina aceleradora, ou pela oxidação da matriz polimérica, ou, ainda, pela polimerização incompleta do material. Ou seja, são causadas por alterações químicas na matriz resinosa. Um compósito inadequadamente polimerizado pode provocar maior sorção de água e solubilidade e, conseqüentemente, baixa estabilidade de cor, decorrente da degradação da resina e redução da resistência ao manchamento, levando à falha estética precoce (D'ALPINO, 2009; FERRACANE, 2006).

De acordo com Soliman *et al.* (2015), os materiais hidrofóbicos tendem a absorver muito menos as tinturas da nutrição diária e são muito menos sensíveis à coloração exógena do que os materiais hidrofílicos.

Satou *et al.* (1989) realizaram uma pesquisa para avaliar o mecanismo de manchamento superficial. Para isso, utilizaram cinco resinas sem carga, hidrofílicas e hidrofóbicas. A medição da alteração de cor das resinas causada por dois corantes orgânicos permitiu a comparação dos diferentes tipos de resina. Foram preparados dois tipos de solução, hidrofílica e hidrofóbica. Os espécimes foram divididos em dois grupos: o primeiro foi submetido ao manchamento imediatamente e no segundo grupo os espécimes foram imersos em água destilada por 40 dias antes de serem colocados nas soluções corantes. Para avaliar o índice de hidrofobia das resinas, o ângulo de contato foi medido.

Os resultados mostram que a resina com grupo hidroxila na composição apresentou o menor ângulo de contato, enquanto a resina sem o grupo hidroxila apresentou o maior ângulo de contato. Os autores acreditam que o manchamento da resina pela solução hidrofílica ocorre através da impregnação do corante concomitantemente com a sorção da água, e a ponte de hidrogênio parece também contribuir para o processo de manchamento. Além disso, foi constatado que o grupo, que foi imerso em água destilada previamente ao processo de manchamento, apresentou menor alteração de cor, mostrando que o manchamento pode estar relacionado à absorção de água pelo material (SATOUE *et al.*, 1989).

Outros estudos sugeriram que a silanização de partículas de enchimento (carga) contribui para a descoloração como resultado da alta propensão do silano à sorção de água, assim como atribuem essa mudança de cor a hidrofiliabilidade da matriz orgânica da resina (ARREGUI *et al.*, 2018; MUNDIM *et al.*, 2010).

A tabela 1 a seguir mostra um esquema resumido da sorção e solubilidade e suas consequências nos compósitos resinosos.

Tabela 1 – Esquematização das propriedades físicas da resina composta e suas consequências.

Propriedades Físicas da Resina	Definição	Consequências
SORÇÃO	É um processo de difusão controlada em que ocorre a separação das cadeias poliméricas, causando degradação química da resina composta. Pode ocasionar a absorção e a adsorção.	- Degradação hidrolítica. - Lixiviação. - Expansão higroscópica. - Instabilidade de cor. - Diminuição das propriedades físicas e mecânicas do material.
SOLUBILIDADE	A solubilidade ocorre devido a movimentação externa dos monômeros residuais que entraram que contato com a água.	- Menor sobrevida da restauração.

Fonte: Elaborado pelos próprios autores.

4. MECANISMO DE FOTOATIVAÇÃO versus SORÇÃO E SOLUBILIDADE

O processo de polimerização ocorre na matriz orgânica, onde se tem a conversão de monômero em polímero (ANFE, ANGRA e VIEIRA, 2011; JUCHEM *et al.*, 2011). No entanto, um grau insuficiente de conversão afeta diretamente as propriedades físicas e a estabilidade química do material, pois polímeros usados na composição de resinas compostas podem absorver água e produtos químicos do meio bucal (sorção) e podem liberar alguns de seus próprios componentes (solubilidade) (ANFE, ANGRA e VIEIRA, 2011; BERGER *et al.*, 2009).

Nesse contexto, a polimerização adequada desempenha um papel importante na longevidade das restaurações de resina composta (CARVALHO *et al.*, 2012; MATUMOTO *et al.*, 2018). Esse procedimento requer intensidade de energia luminosa suficiente e comprimento de onda adequado para ativar o fotoiniciador dentro desses materiais, que irá reagir com o agente redutor para formar radicais livres e iniciar o processo de polimerização. Variáveis como intensidade de luz adequada, comprimento de onda correto e densidade de energia são essenciais para atingir a profundidade de cura adequada (CARVALHO *et al.*, 2012; MATUMOTO *et al.*, 2018).

Diferentes tipos de unidades de fotopolimerização têm sido propostos para a polimerização de materiais resinosos ativados por luz, como lâmpada halógena de quartzo tungstênio convencional, arco de plasma, *laser* de argônio e diodos emissores de luz (LED) (CARVALHO *et al.*, 2012; MATUMOTO *et al.*, 2018). Todos esses aparelhos emitem luz azul no

espectro de absorção da canforoquinona, fotoiniciador geralmente encontrado na maioria dos materiais resinosos. Contudo, o LED tem sido reconhecido como uma tecnologia promissora para a polimerização de materiais resinosos, pois toda a luz emitida está dentro do espectro de absorção máxima da canforoquinona em 468 nm (CARVALHO *et al.*, 2012; MATUMOTO *et al.*, 2018) Carvalho e colaboradores (2012) realizaram um estudo *in vitro* para determinar se diferentes fontes de luz e protocolos de cura influenciam na sorção e na solubilidade de uma resina nano-híbrida. Para a pesquisa, foram usadas unidades de fotopolimerização: lâmpada halógena e LED, com duas densidades de energia: 16 J/cm² e 20 J/cm², e três modos de cura. Concluiu-se que, em geral, as fontes de luz e os modos de cura não influenciaram na sorção e solubilidade da resina testada.

Porém, uma pesquisa, feita por Juchem *et al.* (2011), avaliou a sorção e a solubilidade de uma resina composta microhíbrida (Z250) após polimerizada por lâmpada halógena e LED, a qual foi imersa em água destilada por 7 dias. Os autores concluíram que a fonte de luz influencia a sorção e a solubilidade de água da resina em questão, além da nanodureza e do módulo de elasticidade destas.

Archegas (2005) também realizou um estudo para analisar a sorção e a solubilidade de três resinas microhíbridas, a Herculite XRV™ (Kerr), Tetric Ceram® (Ivoclar Vivadent), e Filtek Z250™ (3M ESPE. Minnesota, USA) polimerizadas com luz halógena e luz emitida por diodo (LED). Foram imersas em água por 24 horas, 7 e 28 dias. Porém, não encontraram diferenças realmente significativas entre as fontes de luz, concluindo que a polimerização com luz halógena e LED, com mesma intensidade e tempo de exposição, não afetou a sorção e a solubilidade das resinas. A distância entre a fonte de luz e a superfície da resina composta tem mostrado interferir diretamente na intensidade de luz que alcança a superfície do material e, conseqüentemente, na profundidade de polimerização. De acordo com os estudos, a intensidade de energia luminosa diminui quando a ponta do aparelho é distanciada da resina, não ocorrendo uma polimerização uniforme em toda a restauração (FERRACANE, 2006). À medida em que se distancia da superfície irradiada, a polimerização dos compósitos torna-se menos efetiva, pois a dispersão da luz tende a minimizar a conversão dos monômeros em polímeros, afetando a qualidade do polímero formado. Dessa forma, pode ocorrer a lixiviação dos monômeros não reagidos e a conseqüente degradação do material a curto ou longo prazo (FERRACANE, 2006).

Uma pesquisa feita por Svizero *et al.* (2012) observou a influência de diferentes distâncias da ponta do polimerizador na difusão de água da resina Z 250 microhíbrida. As distâncias foram de 0, 5, 10 e 15 mm. Os grupos em que o compósito foi fotoativado a 10 e 15 mm de distância apresentaram sorção de água significativamente maior em comparação com 0 mm (p <0,05), o que pode estar associado a uma estrutura polimérica menos reticulada. Uma taxa de polimerização reduzida pode levar a uma estrutura de polímero menos reticulado e com mais porosidades, facilitando a absorção de água. Nenhuma significância

foi observada quando a polimerização foi realizada a 5 mm em comparação ao grupo controle ($p > 0,05$). A distância da fotoativação e o tempo de armazenamento proporcionam a alteração da cor e o aumento da absorção líquida de água da resina composta testada.

Guimarães *et al.* (2008), por sua vez, verificaram a influência do tempo de polimerização em diferentes resinas compostas na absorção de água. Para tal, dispuseram das resinas Z250® (3M ESPE. Minnesota, USA), compactável P60® (3M ESPE. Minnesota, USA) e de micropartículas A110® (3M ESPE. Minnesota, USA), em que foram utilizadas para a confecção de corpos-de-prova de acordo com o tempo de fotopolimerização (o indicado pelo fabricante, a metade e o dobro do tempo preconizado). A absorção de água das resinas compostas foi diferente quando o tempo de polimerização foi alterado. A resina de micropartículas teve o melhor comportamento perante a mudança no tempo de fotopolimerização, enquanto a resina Z250® (3M ESPE. Minnesota, USA) foi a que mais absorveu água quando o tempo foi alterado para menos ($P < 0,05$). Sendo assim, concluíram que o tempo de polimerização sugerido pelo fabricante deve ser respeitado para assegurar a manutenção das propriedades dos materiais.

Bociong *et al.* (2017) observaram em seu estudo a influência da sorção de água de compósitos resinosos na tensão de contração causada pela polimerização na interface restauração-dente. Os seguintes materiais foram testados: Filtek Ultimate® (3M ESPE. Minnesota, USA), Gradia® Direct LoFlo (GC. Japão), Heliomolar Flow® (Ivoclar Vivadent. Alemanha), Tetric EvoCeram® (Ivoclar Vivadent), Tetric EvoCeram Bulk Fill® (Ivoclar Vivadent), Tetric EvoFlow® (Ivoclar Vivadent), Tetric EvoFlow Bulk Fill® (Ivoclar Vivadent), X-tra Base® (VOCO. Alemanha), Venus BulkFill® (Heraeus. Japão) e Ceram.X One® (Dentsply. USA). A tensão de contração foi medida imediatamente após a cura e após: 0,5 h, 24 h, 72 h, 96 h, 168 h, 240 h, 336 h, 504 h, 672 h e 1344 h por meio de estudo fotoelástico. Além disso, foram avaliadas a sorção e a solubilidade de água. O resultado foi de que as resinas Heliomolar Flow®, Gradia® Direct LoFlo e Filtek Ultimate® tiveram os maiores valores de sorção, pois continham Bis-GMA, TEGDMA e UDMA, os monômeros mais hidrofílicos. A maior redução do estresse de contração, após 56 dias de imersão em água, foi observada para a Tetric EvoCeram, também pelos monômeros altamente hidrofílicos.

Misilli e Gönülol (2017) realizaram um estudo para comparar o grau de sorção de água e de solubilidade em resinas Bulk-Fills após a cura com uma luz de fonte *polywave*. Três tipos de materiais foram usados, a X-tra Fil® (VOCO. Alemanha), Tetric N-Ceram Bulk Fill® (Ivoclar Vivadent) e SonicFill® (Kerr), e um material de controle (Filtek Z250™, 3M ESPE. Minnesota, USA), curados de 3 modos diferentes (padrão: 1000 mW/cm², por 20s; alto poder: 1400 mW/cm²- por 12s; potência extra: 3200 mW/cm²- por 6s), usando uma unidade de fotopolimerização por diodo emissor de luz. O Z250 quando exposto a alta potência apresentou uma maior sorção em comparação ao X-tra Fil® e SonicFill®. No modo de energia extra, os valores de Z250™ e SonicFill® eram semelhantes entre si e superiores

em comparação com os de X-tra Fil®. SonicFill® mostrou o maior valor de solubilidade em água entre os compósitos testados. O grupo de resina composta convencional exibiu maiores valores de sorção de água do que os Bulk-Fills.

Além disso, de acordo com Castro *et al.* (2013), a qualidade da rede que se forma durante a polimerização também é de extrema importância para entender os processos que ocorrem em uma resina quando submersa em água. A formação dessa rede ocorre durante a polimerização e inclui uma mistura de cadeias lineares de carbono, formando uma grande massa (CASTRO *et al.*, 2013). A reticulação fornece um número suficiente de pontes entre macromoléculas lineares para formar uma rede tridimensional que diminui a sorção e solubilidade, aumenta a resistência e a rigidez das resinas compostas e reduz a permeabilidade dos polímeros aos solventes (CASTRO *et al.*, 2013). Os polímeros altamente reticulados são mais resistentes às reações degradativas, pois fornecem espaço mais limitado para as moléculas de água se difundirem dentro da estrutura (FERRACANE, 2006).

Castro *et al.* (2013) analisaram o efeito da temperatura e do tempo de cura na sorção e na solubilidade do compósito. Foram utilizadas três temperaturas (10 °C, 25 °C e 60 °C), e cinco tempos de cura (5 s, 10 s, 20 s, 40 s e 60 s). Em conclusão, obtiveram que temperaturas mais altas ou tempos de cura mais longos levaram a menores valores de sorção e solubilidade para o compósito testado. Isso se deve ao fato de que tempos de cura mais longos causaram menos incorporação de água, pois apresentaram maior grau de conversão de monômeros em polímeros e, conseqüentemente, menos espaços livres para a penetração das moléculas de água.

DISCUSSÃO

Este estudo, por meio de uma revisão literária, aborda as repercussões clínicas da sorção e da solubilidade em compósitos resinosos. Ao longo dos anos, diversas pesquisas têm sido feitas sobre a sorção e a solubilidade de resinas compostas (SOKOLOWSKI *et al.*, 2018). Segundo Porto e Almeida (2013), esses estudos utilizam diversos períodos de observação, soluções e corpos de prova com diferentes dimensões, e essa heterogeneidade resulta em valores distintos para o mesmo material, o que dificulta a comparação, mas não invalida os resultados.

A cavidade oral é um ambiente dinâmico. É esperado que os materiais restauradores funcionem efetivamente por um longo período no ambiente oral, lugar em que eles são expostos à umidade, condições de temperatura variáveis e forças mecânicas repetitivas. No entanto, os compósitos de resina não são estáveis, mesmo após a polimerização e são capazes de interagir constantemente com seu ambiente. A principal interação é com a água, que se difunde na matriz (MISILLI e GÖNÜLÖL, 2017; SOKOLOWSKI *et al.*, 2018).

Os polímeros absorvem a água em diferentes graus, dependendo de sua microestrutura e aspectos moleculares. O grau de sorção de água é influenciado pela polaridade da estrutura molecular, a presença de grupos hidroxila capazes de formar ligações de hidrogênio com água e o grau de reticulação na matriz contínua. A captação de água pode resultar em uma expansão da lacuna entre as cadeias de polímero (MÍSILLI e GÖNÜLOL, 2017).

A sorção é um processo que ocorre na fração orgânica da resina e parece estar relacionada ao seu potencial de hidrofilicidade e à composição química das partículas de carga. Assim, a cinética desse processo pode ser mais lenta ou mais rápida para algumas resinas, dependendo de sua composição. Para Gusmão *et al.* (2013), as resinas compostas que contêm, além do Bis-GMA, uma alta concentração de TEG-DMA, tendem a absorver mais água devido às ligações éter hidrofílicas presentes nesses compósitos (GUSMÃO *et al.*, 2013). Os estudos mostraram que a sorção é maior para resinas contendo concentrações mais altas de TEGDMA, por ser um éter hidrofílico (ANFE; ANGRA e VIEIRA, 2011; BOCIONG *et al.*, 2017; PODGÓRSKIA *et al.*, 2015).

Apesar de sua característica hidrofóbica, as resinas compostas absorvem água com o tempo, o que leva não somente à degradação, pela ruptura da união entre a carga e a matriz resinosa, mas também à redução da resistência e ao aumento do desgaste do material (ALSHALI *et al.*, 2015; ARREGUI *et al.*, 2016). Assim como pode provocar a expansão higroscópica, a qual determina o aumento de volume do material. Caso a expansão seja muito alta, pode produzir trincas, fratura dental ou até mesmo uma pulpíte (ALSHALI *et al.*, 2015; ARREGUI *et al.*, 2016).

O comportamento de solubilidade dos materiais dentários é afetado pelo tipo de armazenamento e pelo período de imersão. Monômeros residuais, cargas, produtos de degradação ou inibidores e ativadores de polimerização são, portanto, capazes de lixiviar materiais à base de resina (MÍSILLI, e GÖNÜLOL, 2017). Como resultado, a sorção de água e a solubilidade têm um efeito significativo sobre o sucesso clínico do material restaurador, influenciando a aparência estética, reduzindo a longevidade das restaurações de resina composta, promovendo a formação de microfendas e diminuindo as propriedades mecânicas da resina (BOCIONG *et al.*, 2017; FERRACANE, 2006; PODGÓRSKIA *et al.*, 2015).

A redução das propriedades mecânicas está relacionada, predominantemente, à captação de água pelo polímero, que causa o amolecimento do componente resinoso pela dilatação da rede polimérica, reduzindo as forças friccionais entre as cadeias de polímeros (MÍSILLI, e GÖNÜLOL, 2017; SOKOLOWSKI *et al.*, 2018). Uma vez que a rede está saturada de água e permanece molhada, a degradação torna-se limitada ou pode não acontecer e, assim, o decréscimo registrado inicialmente nas propriedades mecânicas do compósito permanece estável após a diminuição inicial (ALSHALI *et al.*, 2015).

Além disso, alta sorção de água potencializa os efeitos indesejáveis sobre a dilatação e a descoloração da resina composta (CARDOSO, 2018). As resinas que exibem valores mais elevados de sorção apresentam maior dilatação e são mais facilmente coradas por pigmentos hidrofílicos, caso em que a água atua como veículo de penetração (ARREGUI *et al.*, 2016).

Outro fator que provavelmente influencia a sorção de água inclui o grau de conversão do polímero, bem como a quantidade de moléculas pendentes existentes dentro a rede. Altos valores de sorção e solubilidade da resina composta pós-polimerizada podem estar associados à polimerização inadequada (ANFE; ANGRA e VIEIRA, 2011; BERGER *et al.*, 2009). Os componentes que não reagiram dentro da resina composta podem reagir com a água no ambiente oral. Com isso, as moléculas de água forçam a expansão da cadeia do polímero, diminuindo as forças internas e levando à degradação do polímero (ANFE; ANGRA e VIEIRA, 2011; JUCHEM *et al.*, 2011).

Quanto à polimerização da resina, os estudos observaram que variáveis como a intensidade de luz adequada, o comprimento de onda e a densidade de energia afetam diretamente na conversão dos monômeros em polímeros, facilitando a exposição de monômeros à água e, assim, contribuindo para os processos de sorção e solubilidade da resina (FERRACANE, 2006). Pode-se também observar a influência da distância do fotopolimerizador na difusão de água das resinas (FERRACANE, 2006; SVIZERO *et al.*, 2012).

Considerando os efeitos adversos da água nos compósitos resinosos, surgiram no mercado odontológico os compósitos à base de silorano, os quais são uma nova geração de resinas compostas desenvolvidas com baixo estresse de contração (PANAHANDEH *et al.*, 2017). Silorano é um catiônico, sistema de monômero híbrido de abertura de anel que contém siloxano e oxiranos (ATALI e TOPBAYI, 2011). Esses compostos hidrofóbicos polimerizam por meio de um mecanismo catiônico de abertura do anel, que não é sensível à inibição do oxigênio. O núcleo de siloxano ligado aos anéis de oxirano é responsável pela hidrofobicidade desta molécula (PANAHANDEH *et al.*, 2017). O mecanismo de compensação de tensões nesse novo composto deve-se à abertura do anel oxirano durante o processo de polimerização. Em comparação com compósitos convencionais à base de metacrilato, estes, por sua vez, apresentam sorção de água diminuída, solubilidade reduzida e boa estabilidade (ATALI e TOPBAYI, 2011; PANAHANDEH *et al.*, 2017).

Kaleem *et al.* (2012) em seu estudo relataram que as condições de armazenamento seguidas pelo tipo de compósito foram os fatores mais importantes que afetam as propriedades mecânicas dos compósitos. Em seu estudo, o compósito à base de silorano (Filtek P90) preservou melhor sua integridade e propriedades mecânicas em comparação com os compósitos à base de metacrilato durante 4 semanas.

CONCLUSÃO

De acordo com a literatura pesquisada, foi possível constatar os efeitos deletérios dos fenômenos hidrolíticos e higroscópicos que ocorrem com a resina composta exposta à água. A composição da matriz polimérica através das propriedades hidrofóbicas ou hidrofílicas de seus monômeros, o tamanho e porcentagem das partículas e a química do silano presente nos compósitos dentais, definem o grau de sorção e solubilidade dos compósitos resinosos. Os efeitos negativos desses processos contribuem para a expansão volumétrica da resina, bem como a lixiviação e degradação hidrolítica dos seus componentes, influenciando, por sua vez, nas propriedades mecânicas e estabilidade dimensional.

Com o intuito de minimizar tais danos, a literatura indica o uso de resina composta contendo mais partículas de carga e monômeros com alto peso molecular, à exemplo do UDMA. Concomitantemente, o cirurgião-dentista deve realizar uma polimerização adequada do compósito, caso contrário pode tornar o material mais susceptível à sorção. Dessa forma, deve-se utilizar o fotopolimerizador com a menor distância possível da resina, pois quanto maior a distância menor será o efeito da intensidade de luz emitida pelos aparelhos e, conseqüentemente, maior será o tempo necessário de fotoativação para uma polimerização satisfatória.

Por fim, sugerem-se estudos futuros, do tipo ensaios clínicos, que investiguem mais profundamente os fenômenos higroscópicos e hidrolíticos das resinas compostas, assim como pesquisas específicas sobre as conseqüências clínicas desses fenômenos nos compósitos resinosos, no intuito de obter evidências clínicas mais conclusivas acerca desses processos.

REFERÊNCIAS

- ALSHALI, R. Z. et al. Long-term sorption and solubility of bulk-fill and conventional resin-composites in water and artificial saliva. **Journal of Dentistry**, Guildford, v. 43, p. 12, 2015.
- ANFE, T. E. A.; AGRA, C. M.; VIEIRA, G. F. Comparação de duas técnicas de fotoativação na sorção e solubilidade de resinas compostas em solução de etanol. **Journal of Bi dentistry and Biomaterials**, São Paulo, n. 1, p. 61-67, 2011.
- ANFE, T. E. A.; AGRA, C. M.; VIEIRA, G. F. Evaluation of sorption, solubility and staining of universal and silorane resin-based composites. **Eur J Prosthodont Restor Dent**, Larkfield, v. 19, n. 4, p. 151-4, 2011.
- ARCHEGAS, L. R. P. **Sorção e solubilidade de resinas compostas polimerizadas com luz halógena e led**. 2005. Dissertação de mestrado - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.
- ARREGUI, M. et al. Six-month color change and water sorption of 9 new-generation flowable composites in 6 staining solutions. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. e123, 2016.
- ATALI, P. Y., TOPBAYI, F. B. The effect of different bleaching methods on the surface roughness and hardness of composite resins. **Journal Of Dentistry and Oral Hygiene**, v. 3, n. 2, p. 10-17, 2011.
- BALBINOT, C. E. A. **Avaliação da influência da associação de diferentes métodos de envelhecimento na resistência de união de reparos em resina composta**. 2015. Programa de Pós-Graduação em Odontologia - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2015.
- BERGER, S. B. et al. Characterization of water sorption, solubility and filler particles of light-cured composite resins. **Brazilian Dental Journal**, Ribeirão Preto, v. 20, n. 4, p. 314-318, 2009.
- BOCIONG, K. et al. The Influence of Water Sorption of Dental Light-Cured Composites on Shrinkage Stress. **Materials (Basel)**, Basel, v. 10, n. 10, p. 1142, 2017.
- BORGES, A. L. S. **Video-Imaging Analysis of the Polymerization Shrinkage and Hygroscopic Expansion of Resin-Composites**. 2014. Tese - Universidade Estadual Paulista, 2014.
- CARDOSO, I. O. **Influência de diferentes aparelhos fotoativadores LED sem fio e o nível de bateria nas propriedades da resina composta**. 2018. Dissertação (Pós-graduação) - Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- CARVALHO, A. A. et al. Effect of light sources and curing mode techniques on sorption, solubility and biaxial flexural strength of a composite resin. **Journal of Applied Oral Science**, Bauru, v. 20, n. 2, p. 246-252, 2012.

CASTRO, F. L. A. et al. Temperature and curing time affect composite sorption and solubility. **Journal of Applied Oral Science**, Bauru, v. 21, n. 2, p. 157-162, 2013.

D'ALPINO, N. R. S. **Influência da distância de fotoativação na microdureza, sorção, solubilidade e estabilidade de cor de uma resina composta microhíbrida**. 2009. Tese (Doutorado) – Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, Bauru, 2009.

DA SILVA, E. M. et al. Relationship between the degree of conversion, solubility and salivary sorption of a hybrid and a nanofilled resin composite. **Journal of Applied Oral Science**, Bauru, v. 16, n. 2, p. 161-166, 2008.

ESPÍNDOLA-CASTRO, L. F. et al. Evaluation of microhardness, sorption, solubility, and color stability of bulk fill resins: A comparative study. **J Clin Exp Dent**, Valência, v. 12, n. 11, p. e1033-8, 2020.

FERRACANE, J. L. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. **Dent Mater**, Japão, v. 22, p. 211-22, 2006.

FLOYD, C. J.; DICKENS, S. H. Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. **Dent Mater**, Japão, v. 22, p. 1143-9, 2006.

GAJEWSKI, V. E. S. et al. Monomers used in resin composites: degree of conversion, mechanical properties and water sorption/solubility. **Brazilian Dental Journal**, Ribeirão Preto, v. 23, n. 5, p. 508-514, 2012.

GUIMARÃES, F. B. R. et al. Influência do tempo de fotopolimerização de diferentes resinas compostas na sorção de água. **Rev Odonto Ciênc**, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 67-71, 2008.

GÜMÜŞTAŞ, B.; EFES, B. Effect of different clinical applications on physico-mechanical properties of composite resins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, 1463-1471, 2018.

GUSMÃO, G. M. The influence of storage time and pH variation on water sorption by different composite resins. **Indian J Dent Res**, Ahmedabad, v. 24, p. 60-5, 2013.

HASANI, E. et al. Hygroscopic expansion of bulk fill composites: A three-month report. **Braz Dent Sci**, São José dos Campos, v. 21, n. 2, 2018.

IMBERRY, T. A. et al. Evaluation of flexural, diametral tensile, and shear bond strength of composite repairs. **Oper Dent**, Seattle, v. 39, n. 6, p. E250-E260, 2014.

JUCHEM, C. O. et al. Effect of light sources on nanohardness, elastic modulus and water sorption of a composite resin. **Polímeros**, São Carlos, v. 21, n. 2, p. 103-106, 2011.

KALEEM, M. et al. Effect of filler size and morphology on viscoelastic stability of resin-composites under dynamic loading. **J Mater Sci Mater Med**, London, v. 23, p. 623–627, 2012.

LOPES, L. G. et al. Influence of pulse-delay curing on sorption and solubility of a composite resin. **Journal of Applied Oral Science**, Bauru, v. 17, n. 1, p. 27-31, 2009.

MANOJLOVIC, D. et al. Effect of resin and photoinitiator on color, translucency and color stability of conventional and low-shrinkage model composites. **Dental Materials**, Washington, v. 32, n. 2, p. 183-191, 2016.

MATICK, A. C. C. Avaliação da solubilidade e sorção em água de alguns materiais restauradores diretos. **Rev Odontol UNESP**, Araraquara, v. 48, p. e20180128, 2019.

MATUMOTO, M. S. et al. The influence of three photoactivation techniques on the sorption and solubility of different composite resins. **Revista de Odontologia da UNESP**, Araraquara, v. 47, n. 6, p. 395-399, 2018.

MÍSILLI, T.; GÖNÜLOL, N. Water sorption and solubility of bulk-fill composites polymerized with a third generation LED LCU. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v. 31, p. e80, 2017.

MUNDIM, F. M. et al. Effect of staining solutions and repolishing on color stability of direct composites. **J Appl Oral Sci**, Bauru, v. 18, n. 3, p. 249-54, 2010.

Noort, R.N. **Introduction to Dental Materials**. 3rd edição, Mosby Elsevier, London, UK, 2007.

PANAHANDEH, N. et al. Effect of water storage on flexural strength of silorane and methacrylate-based composite resins. **Restorative Dentistry and Endodontics**, Coréia do Sul, v. 42, n. 4, p. 309, 2017.

PETROPOULOU, A. et al. Water sorption and water solubility of self-etching and self-adhesive resin cements. **Journal of Prosthetic Dentistry**, St. Louis, v. 114, n. 5, p. 674-9, 2015.

PODGÓRSKI, M. et al. Ester-free thiol-ene dental restoratives—Part A: Resin development. **Dental Materials**, Washington, v. 31, n. 11, p. 1255-1262, 2015.

PORTO, I. C. C. M.; ALMEIDA, A. G. A. Avaliação em curto e médio prazo da sorção e da solubilidade de resinas compostas à base de metacrilato e de silorano em saliva artificial. **Revista de Odontologia da UNESP**, Araraquara, v. 42, n. 3, p. 176-181, 2013.

REIS, A.; LOGUERCIO, D. A. **Materiais dentários diretos dos fundamentos à aplicação clínica**. São Paulo: Santos Editora, 2º edição, 2021, 352.

SATOU, N. et al. In vitro color change of composite-based resins. **Dental Materials**, Washington, v. 5, n. 6, p. 384-387, 1989.

SCHMITT, V. L. et al. Avaliação da sorção e solubilidade de uma resina composta em diferentes meios líquidos. **Odontol Clín Cient**, Recife, v.10, n.3, 2011.

SOKOLOWSKI, K. et al. Contraction and Hydroscopic Expansion Stress of Dental Ion-Releasing Polymeric Materials. **Polymers**, Suíça, v. 10, n. 10, p. 1093, 2018.

SOLIMAN, T. A. et al. In Vitro Solubility and Wear Rates of Silorane and Dimethacrylate Resin Based Composite Restorative Materials under Different ph Conditions. **J Int Oral Health**, Índia, v. 7, p. 9-13, 2015.

SUITER, E. A. et al. Effective Expansion. **Journal of Dental Research**, Washington, v. 95, n. 5, p. 543–549, 2016.

SVIZERO, N. R. et al. Kinetic of water diffusion and color stability of a resin composite as a function of the curing tip distance. **Materials Research**, São Carlos, v. 15, n. 4, p. 603-610, 2012.

VAN DE SANDE, F. H. et al. 18-year survival of posterior composite resin restorations with and without glass ionomer cement as base. **Dent Mater**, Washington, v. 31, n. 6, p. 669-75, 2015.