



CATOLICA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA

UISEU

A influência da fotoativação na polimerização de resinas compostas convencionais e bulk-fill no grau de conversão de monómeros e microdureza: uma revisão sistemática

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Por: Alessio Bertoz

Viseu, 2024



CATOLICA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA

UISEU

A influência da fotoativação na polimerização de resinas compostas convencionais e bulk-fill no grau de conversão de monómeros e microdureza: uma revisão sistemática

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Por: Alessio Bertoz

Orientador: Professora Doutora Rita Fidalgo Pereira

Co-Orientador: Professora Doutora Anna Carolina Volpi Mello-Moura

Co-Orientador: Professor Doutor Pedro Lopes

Viseu, 2024

“Non è importante come colpisci, l'importante è come sai resistere ai colpi, come incassi e se finisci al tappeto hai la forza di rialzarti...così sei un vincente!” Sylvester Stallone

Dedicatória

A mamma e papà, che grazie al loro sostegno hanno permesso la realizzazione del mio sogno che sembrava così lontano ed irraggiungibile.

Per i sacrifici che hanno fatto e per aver creduto in me ogni giorno.

Per la forza che mi hanno dato e per essere stati il mio punto di riferimento e la mia ancora nei momenti difficili.

Per essermi stati vicini nonostante fossimo lontani.

Per avermi cresciuto con sani principi così da permettermi di scrivere la mia storia.

Per essere le persone più importanti della mia vita.

Grazie

Agradecimentos

Questo traguardo è l'incoronazione del sogno che avevo fin da bambino, sogno che non sarebbe stato possibile grazie alle persone che mi circondano e che hanno dato il loro contributo al fine di sostenermi e darmi amore. Ognuna di queste ha avuto un ruolo fondamentale in questo lungo percorso e merita un ringraziamento speciale.

Ai miei genitori, per tutti i sacrifici che hanno fatto per permettermi di inseguire e realizzare il mio sogno.

A Pier, che grazie ai suoi consigli sinceri mi ha supportato e condotto al mio obiettivo e per avermi fatto capire cosa vuol dire avere un fratello.

Ai miei nonni Antonio, Maria, Sonia, mio zio Fabrizio e mia zia Liliana che mi hanno dato amore da quando sono nato e mi hanno fatto da faro per raggiungere i miei obiettivi.

Alla mia ragazza Giulia, che nonostante la distanza è rimasta sempre al mio fianco dandomi man forte giorno dopo giorno e tirandomi su di morale nei giorni bui. Per essere stata la mia forza motrice ogni giorno e per avermi dato amore nonostante non fossimo fisicamente assieme.

Al mio binomio Karine che in questi ultimi due anni trascorsi mi ha insegnato molto, facendomi da seconda madre e arricchendomi sia a livello lavorativo che emotivo.

Ai miei fratelli Axel, Alessio, Giuseppe, Jacopo, Andrea, Sebastian ed Elisa, che mi hanno fatto capire cosa vuol dire avere una seconda famiglia ed essere sempre stati presenti per qualsiasi cosa io avessi bisogno.

Alla mia piccola famiglia di italiani, venuta qui a Viseu per studiare, che hanno reso colorita questa mia esperienza e che hanno avuto un ruolo fondamentale, giorno dopo giorno, per il conseguimento di questo obiettivo.

A tutte le persone che non ci sono più, che da lassù hanno vegliato su di me e hanno potuto osservare la mia progressione in questi ultimi anni.

A todos os professores que nesta carreira foram capazes de me ensinar tudo o que era preciso para acabar este curso.

E por fim a minha orientadora Professora Doutora Rita Pereira que me guiou nesta última etapa do Mestrado Integrado.

GRAZIE

RESUMO

Introdução: As resinas compostas são amplamente usadas na medicina dentária restauradora pelas propriedades mecânicas, estéticas e biocompatibilidade. O sucesso das restaurações depende da microestrutura do material e da correta fotopolimerização.

Objetivo: A presente revisão sistemática teve como objetivo avaliar o grau de conversão e a microdureza das resinas compostas convencionais e bulk-fill durante os procedimentos de fotopolimerização.

Materiais e métodos: Foi realizada uma revisão bibliográfica nas bases de dados Pubmed, Scopus e Web of Science, utilizando os seguintes palavras-chave: resin composites AND degree of conversion AND microhardness AND light curing unit OR photoinitiator OR light curing distance OR polymerization distance OR exposure time. Foram incluídos artigos em língua inglesa, entre janeiro de 2010 e dezembro de 2023, que relacionavam diferentes tipos de fotoativação com o grau de conversão de monómeros e a microdureza em resinas compostas convencionais e bulk-fill.

Resultados: Os estudos mostram que o grau de conversão e a microdureza diminuem com a profundidade e com menor tempo de exposição. Foi observada uma correlação linear entre o grau de conversão, a microdureza e o índice de refração. A microdureza das diferentes resinas compostas foi afetada pelo espectro de emissão, pela irradiância das unidades de fotopolimerização, pelas partículas inorgânicas, e pela utilização de fotoiniciadores alternativos que permitiram um aumento da microdureza na superfície com luzes largo espectro, contrariamente em profundidade a microdureza diminuiu devido à menor quantidade de luz violeta. Valores similares ou superiores de grau de conversão e microdureza foram obtidos com 1200 mW/cm² comparado a 3600 mW/cm². A distância de polimerização afeta as propriedades físicas e durabilidade das resinas compostas.

Conclusão: A microdureza reflecte a eficiência da polimerização devido à sua correlação com o grau de conversão. As resinas compostas convencionais e bulk-fill têm microestruturas semelhantes, mas diferem na formulação química do fotoiniciador, o que afeta a escolha das unidades de fotopolimerização necessárias para os bulk-fill.

Palavras-chave: Resina composta; grau de conversão; microdureza; unidade de fotopolimerização; fotoiniciador; tempo de exposição.

ABSTRACT

Introduction: Resin composites are widely used in restorative dentistry due to their mechanical properties, aesthetics, and biocompatibility. The success of restorations depends on the material's microstructure and proper photopolymerization.

Objective: This systematic review aimed to evaluate the degree of conversion and microhardness of conventional and bulk-fill composite resins during photopolymerization.

Materials and methods: A bibliographic review was performed on Pubmed, Scopus and Web of Science using the following key terms: resin composites AND degree of conversion AND microhardness AND light curing unit OR photoinitiator OR light curing distance OR polymerization distance OR exposure time. The search included articles in English language between January 2010 and December 2023, that related different types of photoactivation with the degree of monomers conversion and microhardness in conventional and bulk-fill resin-matrix composites.

Results: Studies show that the degree of conversion and microhardness decrease with depth and shorter exposure time. A linear correlation between the degree of conversion, microhardness, and refractive index was observed. Different resin-matrix composites were affected by the emission spectra and irradiance of light-curing units, inorganic particles, also alternative photoinitiators increased microhardness on the surface with wide range lights, however this was not observed on the bottom due to lower violet light amount. Similar or higher conversion degree and microhardness values were obtained with 1200 mW/cm² compared to 3600 mW/cm². The polymerization distance affects the physical properties and durability of the resin composites.

Conclusion: Microhardness reflects polymerization efficiency due to its correlation with the degree of conversion. Conventional and bulk-fill resin composites have similar microstructures but differ in photoinitiator chemistry, affecting the choice of light curing units needed for bulk-fill composites.

Keywords: resin composites; degree of conversion; microhardness; light curing unit; photoinitiator; exposure time.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS	6
2.1 Questão de investigação	6
2.2 Protocolo de registo da revisão sistemática.....	6
2.3 Questão de pesquisa	6
2.4 Estratégia de pesquisa	6
2.5 Critérios elegibilidade.....	8
2.6 Seleção de estudos, extração dos dados e análise da qualidade metodológica.....	9
2.7 Avaliação da qualidade dos estudos incluídos.....	10
3. RESULTADOS	10
3.1 Seleção dos estudos.....	10
3.2 Avaliação do risco de viés.....	11
3.3 Análise de resultados	12
4. DISCUSSÃO.....	34
4.1 Composição das resinas compostas convencionais e bulk-fill	34
4.2 Influência do tempo de exposição, distância e fotoiniciadores na polimerização das resinas compostas convencionais e bulk-fill.....	36
4.3 Relação entre o grau de conversão e a micro-dureza em resinas convencionais e bulk-fill	38
5. CONCLUSÃO.....	41
6. BIBLIOGRAFIA	43

Índice de tabelas

Tabela 1: Tabela de equações de pesquisa base de dados MEDLINE/PubMed.

Tabela 2: Tabela de equações utilizadas na base de dados Scopus

Tabela 3: Tabela de equações utilizadas na base de dados Web of Science

Tabela 4: Critérios de inclusão e exclusão

Tabela 5: Risco de viés dos estudos selecionados

Tabela 6: Composição das resinas compostas

Tabela 7: Obtenção de dados relevantes de estudos selecionados.

Índice de figuras

Figura 1: diagrama de fluxo da estratégia de pesquisa utilizada

Figura 2: composição da resina composta, resina composta convencional e bulk-fill e processo de fotopolimerização.

Figura 3: Microdureza de Vickers, Métodos Raman e FTIR-ATR e relação entre microdureza e grau de conversão.

Acrónimos e Abreviaturas

3-MPS: 3-(trimetoxisilil)propil metacrilato

ATR: Attenuated Total Reflectance

Bis-EMA: metilacrilato de bisfenol A etoxilado

Bis-GMA: metacrilato de bisfenol A-glicidilo

CQ: canforoquinona

GC: grau de conversão de monómeros

KHN: Knoop microhardness

LED: light-emitting diode

LCU: light curing unit

MH: microhardness

PAC: plasma-arch curing

PICO: Patient/population, Intervention, Comparison, Outcome

PPD: Fenilpropanodiona

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses

QTH: quartz-tungsten-halogen

RBC: resin-based composite

TA: tertiary amine

TEGDMA: dimetilacrilato trietilenoglicol

TPO: trimethylbenzoyl diphenylphosphine oxide

UDMA: dimetilacrilato de uretano

1. INTRODUÇÃO

As resinas compostas são materiais à base de polímeros contendo partículas inorgânicas de reforço, sendo dos materiais mais utilizados em medicina dentária restauradora devido às suas propriedades mecânicas, estéticas e biocompatibilidade (1,2). O sucesso de uma restauração direta depende, entre outros, da microestrutura do material e dos procedimentos de fotopolimerização (3,4). Quando a fotopolimerização não é realizada de forma adequada a longevidade das restaurações diretas pode ficar comprometida, podendo ocorrer fraturas, descoloração e a libertação de monómeros para a cavidade oral resultando em toxicidade (5,6). As resinas compostas foram indicadas para restaurações dentárias na Medicina Dentária em meados nos anos 1960 e têm evoluído ao longo do tempo, tendo sido introduzidas várias alterações quanto à forma de polimerização, e microestrutura, tais como, partículas inorgânicas e alterações na matriz orgânica (7,8). As resinas compostas são frequentemente constituídas por uma matriz orgânica à base de monómeros de dimetacrilato, dois quais se destacam o Bis-GMA (metacrilato de bisfenol A-glicidilo), Bis-EMA (metilacrilato de bisfenol A etoxilado), UDMA (dimetilacrilato de uretano) e TEGDMA (dimetilacrilato trietilenoglicol), estes últimos são utilizados como monómeros diluentes para diminuir a viscosidade da matriz orgânica (9–11). Outro dos componentes das resinas compostas são as partículas inorgânicas que são adicionadas à componente orgânica para melhorar as suas propriedades físicas e mecânicas (8,12). As partículas inorgânicas mais utilizadas em resinas compostas são a sílica, os silicatos de boro, o quartzo, o alumínio, o estrôncio e a zircónia (13–15). Relativamente ao tamanho das partículas inorgânicas, as resinas compostas podem ser microparticuladas (partículas de 0,01-0,1 μ m), nanoparticuladas (0,01-0,04 μ m), híbridas (partículas inorgânicas de diferentes tamanhos 0,01-5 μ m) e micro-híbridas (0,01-1 μ m). Atualmente as resinas compostas contém elevadas percentagens em peso/volume de partículas inorgânicas entre 40-90 wt % em peso de partículas inorgânicas (14–16). Para que ocorra a ligação química entre a matriz orgânica e a componente inorgânica, as partículas inorgânicas são recobertas por um agente de ligação, o silano (14,17,18). Uma das moléculas de silano mais utilizadas em medicina dentária para permitir a ligação matriz/partícula inorgânica é o 3-(trimetoxisilil)propil metacrilato (3-MPS) (17,18).

O sistema fotoiniciador encontra-se também na microestrutura das resinas compostas, que para além da combinação clássica canforoquinona (CQ) e amina terciária

(TA) têm incorporado na sua microestrutura outros sistemas fotoiniciadores (19,20). Acompanhando a evolução dos sistemas fotoiniciadores, novas unidades de fotopolimerização com crescentes valores de irradiância, comprimentos de onda mais abrangentes e tempos de exposição curtos, foram também introduzidos (21,22). Esta temática é de particular relevância já que estudos prévios referem que o grau de conversão de monómeros e conseqüentemente as propriedades mecânicas finais da resina composta podem ser afetadas pelo sistema fotoiniciador, pela unidade de fotopolimerização e microestrutura das resinas compostas (23–26).

A função do sistema fotoiniciador é iniciar a reação de polimerização através da absorção da luz visível e formação de radicais livres, quando a luz visível incide sobre as resinas compostas (14,27). Os foto-iniciadores podem ser de dois tipos: tipo I dos quais é exemplo o óxido de trimetilbenzoi-difenilfosfina (TPO) e o do tipo II a canforoquinona (CQ) que surge combinada com a amina terciária (TA) ou fenilpropanodiona (PPD) (14,27). Os fotoiniciadores são excitados em determinados comprimentos de onda na gama do visível. A CQ é um fotoiniciador que absorve comprimentos de onda entre os 430 e os 500 nm, sendo o seu pico de absorção máximo perto dos 470 nm (11). A CQ é ainda hoje utilizada em resinas compostas convencionais (8,28), contudo a incorporação do sistema CQ/TA demonstra algumas limitações, nomeadamente a coloração amarelada que confere às resinas compostas após algum tempo, devido à degradação da TA, que tem como função auxiliar a CQ na formação de radicais livres necessários à reação de fotopolimerização (7,10). Devido a esta limitação e às crescentes preocupações relativas à biocompatibilidade, fotoiniciadores alternativos foram introduzidos, e que são excitados a comprimentos de onda perto dos 400 nm, ou seja, na região do violeta (14,29). Para que a reação de polimerização das resinas compostas ocorra, deve existir uma relação ótima entre a quantidade de luz visível absorvida pelo fotoiniciador e o espectro de emissão de luz visível do equipamento fotoativador (30,31). Para realizar a fotopolimerização das resinas compostas são utilizadas diferentes unidades de fotopolimerização (LCUs) (32,33). Os aparelhos fotoativadores podem ser de diferentes tipos: unidades de quartzo tungsténio-halogéneo (QTH), arco de plasma (PAC) e díodos emissores de luz (LED). Atualmente as unidades de fotoativação LED são as mais utilizadas (32,33). As LCU LED de primeira geração eram dispositivos com potências relativamente baixas, com comprimentos de onda próximos ao pico de absorção da CQ, 470 nm, e estas lâmpadas só conseguiam ativar o fotoiniciador CQ (14,33). As LCU de segunda geração proporcionavam uma maior potência radiante, mas com um espectro limitado entre 420-480nm, este tipo de fotopolimerizadores

era capaz de ativar a CQ e parcialmente o PPD (14,33). As LCU LED de terceira geração incluem LEDs centrais de alta potência (espectro azul) e LEDs laterais adicionais de baixa potência (espectro violeta), de modo a poderem ativar todos os fotoiniciadores presentes nas resinas compostas. Assim, estes dispositivos têm uma vasta gama de comprimentos de onda (390 nm a 500 nm) com dois picos máximos diferentes (luz azul 460 nm e luz violeta 405 nm) (14,33). A fotopolimerização das resinas compostas é um processo complexo que compreende três etapas iniciação, propagação e terminação (34,35). Na primeira fase, ocorre um crescimento das cadeias poliméricas que é diretamente proporcional à concentração do monómero e dos radicais livres; na segunda fase, o material sofre uma diminuição da fluidez, tornando-se mais viscoso devido à diminuição da mobilidade dos radicais livres (gelificação) (34,35). Na terceira e última fase, denominada de vitrificação é atingida a viscosidade máxima do material e as suas propriedades mecânicas e químicas (34,35). A polimerização das resinas compostas é realizada através de radicais livres. Quando o sistema fotoiniciador é a CQ/TA, ocorre uma troca de eletrões entre o fotoiniciador, que absorve a luz visível perto dos 470 nm e os componentes do co-iniciador (TA), dando origem a um radical livre que é adicionado à parte terminal do monómero, formando também um radical livre, a adição de outros radicais livres, formará a cadeia polimérica (33,35). À quantidade de monómeros que quebram as suas ligações duplas e se convertem em polímeros dá-se o nome de grau de conversão de monómeros (GC) (34,36). Esta característica influencia diretamente as propriedades físicas e mecânicas do material (34,36). O GC influencia diretamente as propriedades mecânicas do material tais como a resistência ao desgaste, o módulo de elasticidade e a dureza (37,38). A dureza é uma das propriedades mecânicas que permite caracterizar a resina composta e define-se como a resistência à deformação plástica e esta é uma propriedade utilizada como método indireto de determinação da eficiência da polimerização (38,39). O aumento da reticulação induzido pela fotopolimerização influencia positivamente a microdureza da resina composta, confirmando a relação íntima com o GC (35,37,38). O GC é influenciado por fatores intrínsecos ao material, tais como a natureza dos monómeros, partículas inorgânicas e o seu sistema fotoiniciador, mas também por fatores extrínsecos como a fotopolimerização (35,38). Vários parâmetros têm de ser respeitados no protocolo de fotopolimerização para obter um GC adequado: irradiância da luz, comprimento de onda, tempo de exposição, espessura do incremento de resina composta, distância restauração/LCU e a sua inclinação em relação à restauração (16,32). Se a restauração em resina composta for realizada com de resinas convencionais ou compactáveis, cada

incremento de resina composta não deve exceder 2 mm, a distância de irradiação não deve exceder 8 mm da ponta da LCU à restauração, o ângulo da ponta da LCU deve ser paralelo à superfície da restauração e o tempo de exposição deve ser compreendido entre os 20 e 40 segundos (16,32,40).

A partir de 2010 foram introduzidas as resinas compoats bulk-fill que são resinas compostas altamente translúcidas que assim podem ser fotopolimerizadas num incremento maior, máximo 4 mm, comparativamente às resinas compostas convencionais. As resinas compostas bulk-fill podem ser de alta viscosidade ou fluidas sendo que a segunda deve ser recoberta por uma camada de resina convencional (41–43). Estas resinas não diferem muito das resinas compostas convencionais no que diz respeito ao sistema fotoiniciador. De facto, os fotoiniciadores mais frequentemente contidos estão na CQ e na Lucerina TPO, que são combinados entre si ou com outros fotoiniciadores alternativos (44–46). No que diz respeito à matriz orgânica, as resinas bulk-fill podem conter os mesmos monómeros contidos nas resinas convencionais, mas a sua fórmula química pode ser modificada, ou podem até ser incluídos monómeros de elevado peso molecular com o objetivo de reduzir a contração da polimerização (47–55). Para reduzir a diferença do índice de refração entre a matriz orgânica e as partículas inorgânicas, estas últimas foram modificadas, aumentando-se o seu volume nas resinas compostas bulk-fill e reduzindo-se assim o seu número. A aproximação do índice de refração entre a matriz orgânica e as partículas inorgânicas nas resinas compostas bulk-fill resulta numa maior profundidade de polimerização, permitindo polimerizar maiores incrementos de resina composta, assegurando um bom grau de conversão mesmo nas camadas mais profundas (47–55). Os fotoiniciadores presentes na microestrutura das resinas compostas são excitados em determinados comprimentos de onda, dependendo do tipo de fotoiniciador, pelo que, para absorverem o comprimento de onda correto, devem ser utilizadas LCU's adequadas que correspondam ao espectro de luz correto expresso em nm (32,33,40).

Com base no exposto, o objetivo do presente estudo é a realização de uma revisão sistemática que pretende clarificar o impacto da fotoativação na polimerização das resinas compostas no grau de conversão de monómeros da matriz e nas suas propriedades mecânicas, nomeadamente a micro-dureza. Foi colocada como primeira hipótese do presente trabalho de revisão sistemática que o modo de polimerização influencia o grau de conversão de monómeros e a microdureza e como segunda hipótese que o tipo de fotoiniciadores e unidades de fotopolimerização influenciam o grau de conversão de monómeros e a micro-dureza das resinas compostas convencionais e bulk-fill.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Questão de investigação

A presente revisão sistemática tem como objetivo sintetizar toda a literatura existente e publicada, consolidando a informação num único documento de forma a facilitar o estudo e pesquisa para outros profissionais no mesmo área de pesquisa. Através de uma pesquisa meticulosa utilizando palavras-chave e centrada numa questão de pesquisa específica (34,56).

2.2 Protocolo de registo da revisão sistemática

A presente revisão sistemática foi registada no sítio Web da OSF, gerando o código de identificação DOI: 10.17605/OSF.IO/78UWN, seguindo os fundamentos e normas apresentados pelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (57).

2.3 Questão de pesquisa

A questão de pesquisa foi formulada seguindo a estratégia PICO, P (Population), I (Intervention), C (Control) e O (Outcome) e a presente revisão sistemática pretende explicar e responder à seguinte pergunta: “Em resinas compostas convencionais e bulk- fill (P), o tipo de fotoativação (I), resultante da comparação de diferentes metodologias (C) tem influência no grau de conversão de monómeros e microdureza (O)”?

2.4 Estratégia de pesquisa

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em novembro de 2023 em três bases de dados MEDLINE/PubMed, Web of Science e Scopus. Foram aplicados os seguintes filtros para realizar a pesquisa nas referidas bases de dados: linha temporal entre 2010 e 2023, artigos com resumo e em língua inglesa. Na base de dados Scopus para além dos filtros anteriormente referidos, devido à sua abrangência foram selecionados definidos os seguintes filtros: Limited to composite resin, degree of conversion, hardness, filtros por área de estudo: dentistry, materials science, medicine, health professions. Relativamente ao motor de pesquisa Web of Science, mantiveram-se os filtros linha temporal, artigos com resumo e em língua inglesa foram incluídos os seguintes campos de pesquisa. Dentistry and Oral Surgery Medicine, Materials Science e Health Care Sciences Services.

As seguintes tabelas refletem os termos e equações de pesquisa aplicados nas diferentes bases de dados.

Tabela 1- Tabela de equações de pesquisa base de dados MEDLINE/PubMed.

Tabela 1 Pubmed	All fields; Mesh Terms
#1	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (light-curing unit)
#2	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (photoinitiator)
#3	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (light curing distance)
#4	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (polymerization distance)
#5	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (exposure time)
#6	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (polymerization)
#7	((resin composites) AND (microhardness)) AND (degree of conversion) AND (light curing)

Tabela 2- Tabela de equações utilizadas na base de dados Scopus

Tabela 2 Scopus	All fields; Mesh Terms
#1	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (light-curing unit)
#2	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (photoinitiator)
#3	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (light curing distance)
#4	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (polymerization distance)
#5	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (exposure time)

#6	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (polymerization)
#7	((resin composites) AND (microhardness)) AND (degree of conversion) AND (light curing)

Tabela 3- Tabela de equações utilizadas na base de dados Web of Science

Tabela 2 Scopus	All fields; Mesh Terms
#1	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (light-curing unit)
#2	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (photoinitiator)
#3	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (light curing distance)
#4	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (polymerization distance)
#5	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (exposure time)
#6	((resin composites) AND (degree of conversion)) AND (microhardness) AND (polymerization)
#7	((resin composites) AND (microhardness)) AND (degree of conversion) AND (light curing)

2.5 Critérios elegibilidade

Os critérios de inclusão englobaram, artigos em língua inglesa com uma linha temporal entre janeiro de 2010 e dezembro de 2023, e que relacionam diferentes tipos de fotoativação com o grau de conversão de monómeros e microdureza em resinas compostas convencionais e resinas bulk-fill. Os critérios de inclusão foram os seguintes: estudos em vitro; com indicação do grau de conversão de monómeros medido imediatamente após polimerização e 24 horas após polimerização; ensaios randomizados controlados, estudos em animais; estudos de coorte prospetivos; artigos que medem tanto o grau de conversão como a microdureza e que esta última é medida "top of bottom". Os critérios de exclusão

são os seguintes: artigos sem Abstract; Case reports sem follow up; revisões; estudos piloto; efeito da polimerização no grau de conversão de monómeros e micro-dureza em outros materiais aplicados em outras áreas da engenharia de materiais biomédicos; outros métodos que podem afetar a conversão de monómeros como aplicação de temperatura prévia à polimerização; artigos que não relacionavam o grau de conversão com a micro-dureza e vice-versa. Os critérios de inclusão e exclusão estão indicados na Tabela 4.

Tabela 4-Critérios de inclusão e exclusão

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Artigos em língua inglesa	Artigos sem Abstract
Linha temporal entre janeiro de 2010 e dezembro de 2023	Case reports sem follow up
Estudos em vitro	Revisões
Grau de conversão de monómeros medido imediatamente após polimerização e 24 horas após polimerização	Grau de conversão de monómeros e micro-dureza em outros materiais aplicados em outras áreas da engenharia de materiais biomédicos
Ensaio randomizados controlados	estudos piloto
Estudos em animais	Outros métodos que podem afetar a conversão de monómeros como aplicação de temperatura prévia à polimerização
Estudos de coorte prospectivos	Artigos que não relacionavam o grau de conversão com a micro-dureza e vice-versa
Artigos que medem tanto o grau de conversão como a microdureza (top of bottom)	

2.6 Seleção de estudos, extração dos dados e análise da qualidade metodológica

Os artigos selecionados de cada base de dados foram colocados na plataforma “Rayyan’s Intelligent Systematic Review Platform” (58). Através desta plataforma, foram identificados e eliminados os duplicados. A plataforma foi disponibilizada a 4 autores independentes (AB, ACVMM, RFP e PL) que, após a exclusão de artigos duplicados, leram o título e o resumo de cada um dos artigos presentes. Em caso de divergência, a escolha foi confirmada pelo autor RFP. Os artigos selecionados foram lidos e analisados individualmente e independentemente pelos autores, extraindo as seguintes variáveis numa tabela: autor e ano, objetivo, composição da resina composta (matriz orgânica), partículas inorgânicas, sistema de fotopolimerização, medição do grau de conversão e da microdureza e resultados.

2.7 Avaliação da qualidade dos estudos incluídos

A avaliação do risco de viés e da qualidade dos estudos incluídos foi realizada de forma independente por 2 revisores (AB e RFP) através da ferramenta de avaliação da qualidade de estudos in-vitro, Quality Assessment Tool For In Vitro Studies (QUIN Tool) (59). Esta ferramenta inclui 12 pontos para avaliação da qualidade dos estudos incluídos na presente revisão sistemática.

3. RESULTADOS

3.1 Seleção dos estudos

A pesquisa inicial nas três bases de dados (PubMed, Scopus e Web of Science) realizada em Novembro de 2023, resultou num total de 1062 artigos (273 na PubMed, 449 no Scopus e 340 no Web of Science) dos quais 721 foram retirados por serem duplicados através da plataforma Rayan. Os 341 artigos restantes foram analisados através da leitura do título e do abstract, tendo em conta os critérios de exclusão e de inclusão escolhidos, destes, 280 foram descartados. Os 61 artigos selecionados foram analisados e, destes, 3 artigos foram excluídos por não estar disponível o texto integral dos artigos, 13 porque não avaliavam o grau de conversão dos monómeros, 6 porque não avaliavam a microdureza, 10 porque não avaliavam a microdureza na superfície e em profundidade (top of bottom), 1

dizia respeito à resina composta indireta e 1 porquê avaliava a microdureza em imersão. Os resultados da seleção dos estudos são mostrados na Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..

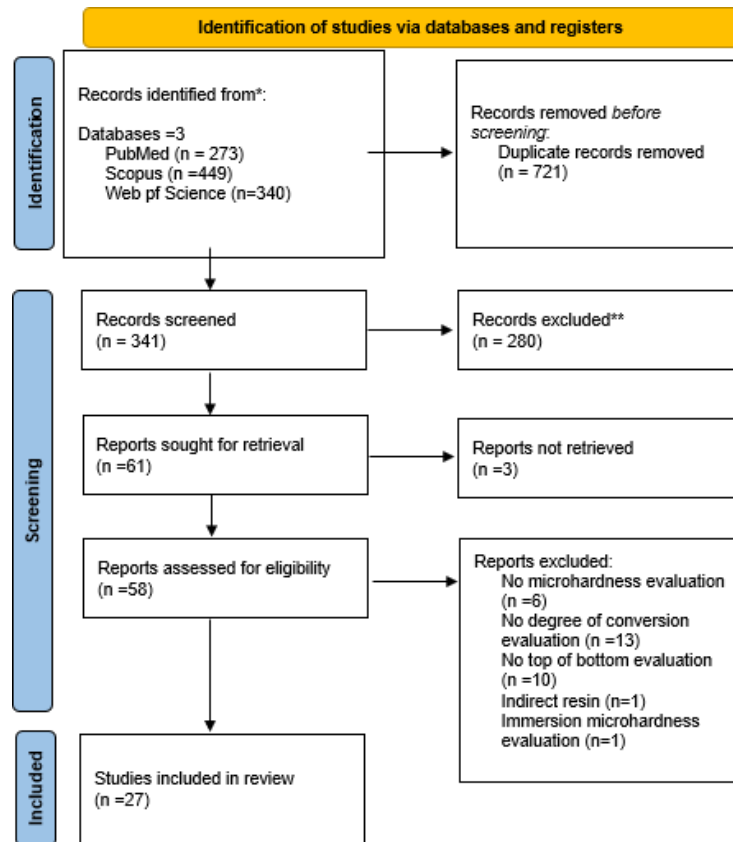


Figura 1. Diagrama de fluxo da estratégia de pesquisa utilizada neste estudo.

3.2 Avaliação do risco de viés

O risco de viés e a avaliação da qualidade dos estudos são apresentados na Tabela 5. A análise revelou que os artigos selecionados demonstraram um baixo risco de viés. Todos os artigos indicaram claramente o objetivo do estudo, seis artigos especificaram inadequadamente a explicação detalhada do cálculo do tamanho da amostra (60–65). Dezanove artigos especificaram de forma inadequada os detalhes do operador (60–78). Um artigo especificou de forma inadequada o processo de randomização (62). Sete artigos especificaram de forma inadequada os detalhes do avaliador de resultados (60,61,63,71,72,75,79) e cinco artigos não especificaram os detalhes do avaliador de

resultados (67–71). Um artigo especificou de forma inadequada o “blinding process” (61) e um artigo especificou de forma inadequada a análise estatística (65).

3.3 Análise de resultados

Dos 27 artigos incluídos nesta revisão, um estudo (3,7%) avalia a profundidade de polimerização em resinas compostas convencionais, tendo em conta a profundidade a que ocorre a transição do estado vítreo para o estado de borracha da matriz orgânica (60). Dois artigos (7,4%) investigam a forma como os incrementos da resina composta convencional influenciam o grau de conversão (GC) e a microdureza (MH) (61,62), enquanto um (3,7%) avalia os referidos parâmetros comparando resinas compostas convencionais e resinas bulk-fill (65). Nove estudos (33,3%) tiveram como objetivo verificar a influência que diferentes características e parâmetros de fotopolimerização exercem sobre o GC e a MH de resinas compostas convencionais (63,64,66,68,71–74,80); dois artigos (7,4%) avaliaram esse aspeto em resinas compostas bulk-fill (69,81), enquanto um (3,7%) comparou essas características entre resinas compostas convencionais e bulk-fill (79). Um artigo (3,7%) estuda a influência da TPO no GC e na MH numa resina composta convencional, fotopolimerizada com LED *monowave* ou *polywave* (67). Um estudo (3,7%) avalia o modo como diferentes aminas terciárias contidas na matriz orgânica das resinas compostas convencionais influenciam a GC e a MH e a estabilidade de cor nas resinas compostas com diferentes aminas (70). Dois estudos (7,4%) investigaram os efeitos da distância de fotopolimerização em resinas compostas convencionais na GC e MH (75,82). Um estudo (3,7%) determina e correlaciona o GC com MH e o parâmetro de translucidez com a profundidade de polimerização em resinas compostas bulk-fill (83). Um artigo (3,7%) investiga o GC e MH de diferentes resinas compostas convencionais (76). Um estudo (3,7%) avalia o GC e MH comparado entre resinas compostas convencionais e bulk-fill (84). Dois estudos (7,4%) avaliam a influência do tempo de exposição à fotopolimerização na GC e na MH em comparação entre resinas compostas convencionais e bulk-fill (77,85). Um estudo (3,7%) deteta a GC e a MH imediatamente após a fotopolimerização e a sua variação ao longo do tempo (pós-polimerização) em resinas compostas convencionais e bulk-fill (78). Um artigo (3,7%) avalia como a preparação do dente e a LCU influenciam a GC e a MH em resinas compostas bulk-fill (86).

As principais conclusões retiradas dos artigos incluídos neste estudo, estão indicadas na Tabela 7 e abaixo descritas:

- Foi observado que o grau de conversão (GC) e a micro dureza (MH) diminuíram com o aumento de profundidade. Menor tempo de exposição revelou valores mais baixos de GC e MH à superfície. Além disso, observou-se uma correlação linear entre GC, MH e índice de refração (60,61). Registaram-se diferenças na transmissão de luz resinas compostas de vários tipos e marcas. As resinas compostas bulk-fill de baixa viscosidade e as resinas compostas reforçadas com fibras proporcionaram uma maior transmissão de luz em comparação com resinas compostas de maior viscosidade (65). As diferentes exposições radiantes avaliadas não afetaram as propriedades físicas testadas, mas estas propriedades foram influenciadas pela composição química da resina composta (64,74), mas outros estudos mostram que depende também do aparelho de fotoativação e procedimento de polimerização (69,76). Com base nos resultados da análise da área do núcleo de cada LCU e da matriz orgânica, fotoativação com LED ou QTH apresentou diferenças na redução do GC e MH (66). As resinas compostas sem Bis-GMA, incluindo a que contém o monômero ormocer/TCD, apresentaram maior GC e MH. No entanto, os valores de MH aumentaram com um maior teor de carga (76).
- As diferentes resinas compostas testadas foram afetadas pelo espectro de emissão e pela de irradiância. A utilização de fotoiniciadores alternativos melhorou a MH na superfície superior com luzes de amplo espectro, mas esse efeito não foi observado na superfície inferior devido à falta de luz violeta. Valores equivalentes ou superiores de MH e GC foram obtidos em profundidade com uma irradiância de 1200 mW/cm² em comparação com 3600 mW/cm² (68). A polimerização à distância pode danificar as propriedades físicas e a durabilidade a longo prazo das restaurações da resina composta. Recomenda-se a utilização de dispositivos de polimerização com uma irradiância mais elevada para contrariar este efeito negativo (82). Diferentes exposições de radiação (730,1450 e 2920 mW/cm²), com variação dos tempos de exposição entre 5, 10 e 20 s, não alterou os valores de GC e a MH (79). A lâmpada QTH mostrou valores mais elevados de GC na resina composta nanoparticulada comparativamente à lâmpada LED, não houve diferença significativa na MH, no entanto um tempo de exposição prolongado resultou em aumento desta. Por outro lado, o tempo de

exposição estendido (40 s) não teve impacto no grau de conversão do material testado (80). O aumento do tempo de irradiação melhora a GC e a dureza das resinas compostas a maiores profundidades, mas tempos curtos (10 s) a 4 mm produzem resultados inferiores. Comparativamente os LEDs de segunda (SmartLite® Focus®, Dentsply Sirona™) e terceira geração (Bluephase® style, Ivoclar Vivadent™), na fotoativação de resinas bulk-fill (3M ESPE™, Dental products, Saint Paul, MN, USA), (Ivoclar Vivadent™, Zurich, Switzerland) e (Dentsply™, Konstanz, Germany) obtiveram valores próximos de GC, relativamente à MH aconselha-se maior tempo de exposição (69). Tempos mais longos (20-30 s) com unidades de alta intensidade podem proporcionar uma melhor conversão de ligações duplas, mas nem todos os materiais atingem 80% de dureza a 4 mm. Por conseguinte, não se recomenda a generalização da colocação de incrementos de 4 mm para todos as resinas compostas bulk-fill de alta viscosidade com tempos de irradiação até 30 s, indicando que o tempo de exposição e a espessura dos incrementos influencia o GC e a MH. (77).

Para além disso, quando a resina composta foi fotoativada durante 40 segundos nas regiões mesio-oclusal e 40 segundos nas regiões disto-oclusal, não foram encontradas diferenças significativas entre o fotoativador Valo Cordless (Ultradent™, South Jordan, UT, USA) e a Bluephase G2 (Ivoclar Vivadent™, Schaan, Liechtenstein), utilizando uma guia de luz com uma abertura interincisal de 44 mm (86). As diferentes LCU's (halogéneo ou LED) não afetaram a GC e a MH da nova resina composta à base de silorano nas profundidades de 2, 3, 4 e 5 mm mas aumentando a profundidade, diminuíram os valores de DC e MH. Os valores mais elevados de DC e MH foram obtidos a profundidades de 2-3 mm (71). Além disso, deve ressaltar-se que não são recomendados incrementos de 6 mm nenhuma resina composta, devido aos valores mais baixos de MH do fundo para a superfície inferiores a 80% (83). Seis unidades de fotoativação analisadas (Optilux 401, Kerr, Orange, CA), (Bluephase Style, Ivoclar Vivadent™, Amherst, NY), (SmartLite Max, Dentsply™, York, PA), (Valo Cordless, Ultradent™, South Jordan, UT), (Demi, Kerr™, Orange, CA) e (Demi Ultra, Kerr™, Orange, CA) não mostraram padrões de polimerização uniformes para a GC, MH e redução percentual da MH, a presença de TPO na resina composta em profundidades de polimerização de 1mm, diminui a sua influência quando utilizados fotoativadores não polywave (75).

Os resultados mostram que o GC e a MH e o índice de refração estão correlacionados linearmente com a densidade de energia das unidades de polimerização (LCUs). Além disso, resinas fotoativadas com laser DPSS alcançaram níveis de polimerização comparáveis aos das unidades QTH convencionais, desde que a intensidade de luz fosse semelhante (73). A MH foi afetada pelo comprimento de onda dos LED LCUs, com os valores mais elevados para 468 nm mas o GC não foi alterado (63).

- Diferentes co-iniciadores da polimerização 2-dimethylaminoethyl methacrylate (DMAEMA), N, N-cyanoethylmethylaniline (CEMA), NN-dimethyl p-toluidine (DMPT), N,N-diethanol p-toluidine (DEPT) ou N,N-dimethyl-p-aminobenzoic acid ethylester (DABE) foram analisados no entanto a resina composta que inclui DMAEMA como amina terciária apresenta melhor GC e MH (70). As diferentes LCU apresentaram um desempenho semelhante para todas as resinas compostas testadas, sugerindo que os fotoiniciadores Ivocerin™ ou APS™ podem ser utilizados com sucesso com ambos os tipos de unidades de polimerização (85). No entanto para resinas compostas contendo TPO, os fotoativadores polywave obtiveram valores superiores de GC e MH (67). O LED de polywave resultou numa MH significativamente maior do que o QTH e outros LEDs em resinas compostas que se acredita conterem co-iniciadores (PPD ou TPO). No entanto, não foram observadas diferenças consistentes no GC entre o LED de picos duplos e os outros LCUs nas resinas compostas contendo diferentes co-iniciadores (72).

Tabela 5:Risco de viés dos estudos selecionados

	Clearly stated aims/objectives	Detailed explanation of sample size calculation	Detailed explanation of sampling technique	Details of comparison group	Detailed explanation of methodology	Operator details	Randomization	Method of measurement of outcome	Outcome assessor details	Blinding	Statistical analysis	Presentation of results	Score	Bias evaluation
<i>Leprince et al. (60)</i>	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	21	87.50% Low risk
<i>Son et al. (61)</i>	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	20	83.33% Low risk
<i>Monterubbianesi et al. (81)</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	22	91.67% Low risk
<i>Santini et al. (67)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	0	2	2	2	21	87.50% Low risk
<i>Shimokawa et al.(68)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	0	2	2	2	21	87.50% Low risk
<i>Siagian et al. (69)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	0	2	2	2	21	87.50% Low risk
<i>Furuse et al. (70)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	0	2	2	2	21	87.50% Low risk
<i>Torres et al. (71)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	22	91.67% Low risk
<i>LEE et al. (74)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	22	91.67% Low risk
<i>Heo et al. (73)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	23	95.83% Low risk
<i>LEE et al. (72)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	23	95.83% Low risk
<i>Al-Zain et al. (75)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	23	95.83% Low risk
<i>AlShaafi (79)</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	23	95.83% Low risk
<i>Miletic et al. (83)</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	100.00% Low risk
<i>Ferreira et al. (63)</i>	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	21	87.50% Low risk
<i>Giorgi et al. (62)</i>	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	21	87.50% Low risk
<i>Catelan et al. (82)</i>	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	23	95.83% Low risk
<i>Atah et al. (76)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	23	95.83% Low risk
<i>Tarle et al. (77)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	23	95.83% Low risk
<i>Garoushi et al. (65)</i>	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	21	87.50% Low risk
<i>Catelan et al. (64)</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	100.00% Low risk
<i>Strini et al. (84)</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	100.00% Low risk
<i>Lima et al. (80)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	23	95.83% Low risk
<i>Al-Zain et al. (66)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	22	91.67% Low risk
<i>Germescheid et al. (78)</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	23	95.83% Low risk
<i>Barcelos et al. (85)</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	100.00% Low risk
<i>Braga et al. (86)</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	100.00% Low risk
													24	100.00% Low risk

Adequadamente especificado=2; Inadequadamente especificado=1; Não especificado=0; Não Aplicável= NA } 70 %; risco médio entre 70 e 50 %; risco elevado < 50 %

Tabela 6: Composição das resinas compostas

Autor	Matriz das resinas compostas (composição química)	Partículas inorgânicas (wt/v%)
1 Leprince et al., (2011) (60)	RBC nano-híbridas elevada carga inorgânica, Grandio (Voco™, Cuxhaven, Alemanha) corA3	-
2 Son et al. (2014) (61)	P90: Silorano Z250: Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA Z350: Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, Bis-EMA	P90: Quartzo silanizado, fluoreto de ítrio 55/76 Z250: Zircónia, sílica 60/84,5 Z350: Zircónia, nanosílica 59,5/82
3 Monterubbianesi et al. (2016) (81)	SureFil SDR (resina composta bulk-fill fluída) modificada UDMA, TEGDMA, EBPDMA. Fill up! (resina composta bulk-fill de polimerização dupla) TMPTMA, UDMA, Bis-GMA, TEGDMA. Filtek bulk-fill restauração posterior: Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA. SonicFill: resina composta bulk-fill ativada EBADMA, TEGDMA. SonicFill2: resina composta bulk-fill, Poli(oxi-1,2 etanodil), α,α -[(1-metiletilideno)di-4, 1-fenileno]bis[ω -[(2-metil-1-oxo-2-propen-1-il)oxy]- 2,2-etilenodioxidildimetil dimetacrilato.	SureFil: 68/45 Fill up!: 65/49 Restauração posterior Filtek™ bulk-fill: 76,5/58,4 SonicFill™: 83,5/83 SonicFill2: 81,3 % wt%
4 Santini et al. (2012) (67)	Tetric EvoCeram: Bis-GMA, UMDA, Bis-EMA (16,8 wt%). Vit-I-escence: Bis-GMA canforoquinona (CQ)Herculite XRV Ultra: Monómeros de éster de metacrilato não polimerizados, 4-metoxifenol (MEHQ), peróxido de benzoilo (BPO), triacrilato de trimetilolpropano e iniciadores.	Tetric EvoCeram: vidro de bário, trifluoreto de itérbio, óxido misto (48,5%). Vit-I-escence: borossilicato de bário e outras cargas. Herculite XRV Ultra: dióxido de titânio (TiO ₂).
5 Shimokawa et al. (2017) (68)	Filtek Supreme Ultra- cor A2 -Não divulgado (ND) Tetric EvoCeram - cor A2- ND Tetric EvoCeram - cor T -ND TPH Spectra alta Viscosidade - cor A2 MD	ND
6 Siagian et al. (2020) (69)	Filtek Bulk-fill (FB)- Fotoiniciador AUDMA, UDMA, DDDMA CQ. Tetric N-Ceram (TB)- Fotoiniciadores Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, CQ, derivado de dibenzoil germânio (Ivocerin™). SDR flow (SDR)- Fotoiniciador Bis-EMA, UDMA modificado, TEGDMA, CQ.	FB- Cerâmica tratada com silano, sílica, zircónia 77/59 TB- Vidro de bário, vidro de silicato 81/61 SDR- Vidro de fluorossilicato de bário e alumínio 68/45

7	Furuse et al. (2011) (70)	Filtek Bulk-fill (FB)- Fotoiniciador AUDMA, UDMA, DDDMA CQ. Tetric N-Ceram (TB)- Fotoiniciadores Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, CQ, derivado de dibenzoil germânio (Ivocerin™). SDR flow (SDR)- Fotoiniciador Bis-EMA, UDMA modificado, TEGDMA, CQ.	ND
8	Torres et al. (2014) (71)	Resina composta à base de silorano Filtek LS, cor A3	Quartzo tratado com silano 60-76 wt%
9	LEE et al. (2013) (74)	Grandio-Bis-GMA, TEGDMA, UDMA Premise- Bis-EMA, TEGDMA Aelite LS-Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA Estelite Sigma Quick- Bis-GMA, TEGDMA Filtek LS- Silorano Venus Diamond-TCD-DI-HEA, UDMA	Grandio- vidro de boro alumunino-silicato, nanopartículas de SiO ₂ 71.4/87 Premise- vidro de boro alumunino-silicato, vidro de bário, nano partículas de sílica, partículas pré-polimerizada (PPF) 71/84 Aelite LS- partículas de vidro de vidro, sílica amorfa 74/88 Estelite Sigma Quick- Sílica-zircónia, 71/82 Filtek LS- Quartzo silanizado, fluoreto de ítrio 55/76 Venus Diamond- Vidro de silicato de Ba-B-F-Al, SiO ₂ , nanopartículas 64,3/81,2
10	Heo et al. (2013) (73)	Silorano Filtek (LS): Silorano Premissa (PR): Bis-EMA, TEGDMA Venus Diamond (VE): TCD-DI-HEA, UDMA	LS- Quartzo silanizado, fluoreto de ítrio 55/76 PR- vidro de boro alumunino-silicato, vidro de bário, nanopartículas de sílica, partículas pré-polimerizadas (PPF) 71/84 VE- vidro de boro alumunino-silicato , SiO ₂ , nanopartículas 64,3/81,2
11	LEE et al. (2012) (72)	Aelite LS Posterior (AL): Bis-EMA, TEGDMA, contém um coiniador para além da CQ Grandio (GD): Bis-GMA, TEGDMA, UDMA, CQ Tetric Evoceram (TC): Bis-GMA, UDMA VT: Bis-GMA Vit-I-escence(VT)TEGDMA contém um coiniador para além da CQ. Filtek z350 (Z3): Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, Bis-EMA, CQ	AL: partículas de vidro, sílica amorfa 74/88 GD: vidro de boro alumunino-silicato, SiO ₂ nanopartículas 71.4/87 TC: vidro de boro alumunino-silicato, Al ₂ O ₃ , YbF ₃ 61/82 VT: sílica 58/75 Z3: nanopartículas de zircónia/sílica 59,5/78,5
12	Al-Zain et al. (2019) (75)	Tetric EvoCeram: duplo fotoiniciador RBC	ND
13	AlShaaf (2019) (79)	RBC bulk-fill, Tetric EvoCeram Bulk-fill (TBF), cor IVA , Filtek Supreme Ultra (FS), cor A2B.	-
14	Miletic et al. (2016) (83)	Filtek Bulk-Fill Fluida: Resina Procrylat, Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA, iniciadores (4mm). SDR: UDMA modificado, EBPADMA, TEGDMA, CQ (4mm) SonicFill: Bis-GMA, EBPADMA, TEGDMA, iniciadores (5 mm) Xenius: Base PMMA, BisGMA, TEGDMA,CQ, 2-(dimetilamino) metacrilato de etilo, hidroquinona (4mm) Tetric EvoCeram Bulk-fill (TEC Bulk) Bis-GMA (4mm) Tetric EvoCeram, controlo (TEC) Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA etoxilado (2mm)	Filtek Bulk: trifluoreto de itérbio (YbF ₃), partículas de cerâmica, estabilizadores 50-60% em peso (cerâmica) 1-10% em peso (YbF ₃) SDR: Vidro de boro-silicato Ba-Al-F, vidro de boro-silicato Sr-Al-F-B, hidroxitolueno butilado, estabilizador UV, TiO ₂ , pigmentos de óxido de ferro 68% em peso. SonicFill: cargas de vidro, SiO ₂ , ZnO, TiO ₂ , estabilizadores 83,5% em peso Xenius: partículas de carga de silicato de Ba, fibras de vidro (comprimento médio de 1,3 mm), 74% em peso de partículas inorgânicas TEC Bulk-fill: vidro Ba, trifluoreto de itérbio, óxido misto, pré-polímeros, aditivos, catalisadores, estabilizadores, pigmentos 79-80% em peso TEC: vidro Ba, trifluoreto de itérbio, óxido misto, pré-polímeros, aditivos, catalisadores, estabilizadores, pigmentos 82% em peso.
15	Ferreira et al. (2015) (63)	Resina composta micro-híbrida à base de Bis-GMA - Venus A3	ND
16	Giorgi et al. (2014) (62)	Resina composta micro-híbrida Filtek Z250, A3	ND

17	Catelan et al (2015) (82)	Resina composta micro-híbrida Filtek Z250,A2	ND
18	Atali et a (2022) (76)	Omnichroma Nanoparticulada (OC): UDMA, TEGDMA Vittra APS Unique nanohíbrida (VU): UDMA, TEGDMA Charisma Diamond One Nanohybrid(DO):UDMA, TCD-DI-HEA, TEGDMA OptiShade Nanohybrid(OS): Bis-EMA, Bis-GMA, TEGDMA Admira Fusion x-tra Nanohybrid (AFX) ORMOCER Zenchroma Microhybrid(ZC) UDMA, Bis-GMA, TEMDMA Essentia Universal Microhybrid(ES): UDMA, Bis-MEPP, Bis-EMA, Bis-GMA, TEGDMA	OC: partículas supra-nano esférica de tamanho uniforme (260 nm esférica SiO ₂ -ZrO ₂) e CF 79/68 VU: Carga de zircônio, sílica (200 nm) 82/72 DO: B ₂ O ₃ -F-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ , sílica, TiO ₂ , pigmentos fluorescentes, pigmentos de óxido metálico, pigmentos orgânicos, 5 nm-20 µm 81/64 OS: PPF, BaO-Al ₂ O ₃ -SiO ₂ , sílica, e F ₃ Yb. Menor tamanho de partícula: 5 nm, maior tamanho de partícula: 400 nm, tamanho médio de partícula: 50 nm 81/64.5 AFX: Nanopartículas de dióxido de silício (20-50 nm) e cargas híbridas à base de óxido de silício 84% em peso ZC: Pó de vidro, carga inorgânica de dióxido de silício (0,005-3,0 µm) 75/53 ES: PPF (17 µm): vidro de estrôncio (400 nm), fluoreto de lantanídeo (100 nm), sílica pirogênica (16 nm), vidro FAISi (850 nm) 81% em peso
19	Tarle et al. (2014) (77)	Tetric EvoCeram (TEC): Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, espessura recomendada 2mm. Tetric EvoCeram Bulk-Fill (TECBF): Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, espessura recomendada 4mm. x-tra fil (XF): Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, espessura recomendada de 4 mm. QuixFil (QF) Bis-EMA, UDMA, TEGDMA, resinas de di- e trimetacrilato, dimetacrilato modificado com ácido carboxílico, espessura recomendada de 4 mm. SonicFill (SF): Bis-GMA, Bis-EMA, TEGDMA, espessura recomendada 5mm.	TEC: Vidro de bário, YbF ₃ , óxido misto, PPF (0,04-3 µm), 76/55 TECBF: Vidro de bário, YbF ₃ , óxido misto, PPF (0,04-3 µm),81/61 XF: Vidro de silicato de alumínio e boro e bário (0,05-10 µm),86/70 QF: Vidro de silicato de estrôncio, alumínio, fluoreto de sódio e fosfato (1-10 µm),86/66 SF: 84/66
20	Garoushi et al. (2015) (65)	x-trafil- bulk-fill: Bis-EMA, MMA Venus bulk-fill- bulk-fill: UDMA, EBADMA FiltekSuperme-Nano: Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA G-aenial anterior- Micro-híbrido: UDMA, co-monomeros de dimetacrilato G-aenial universal flow - Fluida: UDMA, TEGDMA TetricEvoCeram Bulk-fill- bulk-fill: co-monomeros de dimetacrilato SDR- bulk-fill: TEGDMA, EBADMA Filtek Bulk-fill- bulk-fill: Bis-GMA, bis-EMA, UDMA Alerta Condensável: ND SonicFill- Nanohybrid- bulk-fill: Bis-GMA, bis-EMA, TEGDMA everXPosterior-resina composta de fibras curtas: Bis-GMA, PMMA, TEGDMA	x-trafil-Filler 75/58 Venus bulk-fill-vidro de silicato de bário e sílica 65/38 FiltekSuperme-sílica 78,5/59,5 G-aenial anterior- vidro de sílica G-aenial universal flow-vidro de crômio 69/50 TetricEvoCeram Bulk-fill- vidro de bário 80/60 SDR- vidro borossilicato de bário, 68/44 Filtek Bulk-fill-zircônia 64/42 Alert-Filler- fibra de vidro convencional e micro, 84/62 SonicFill-filler 83 vol%. everXPosterior- fibras curtas tipo E, vidro de bário 74,2/53,6
21	Catela et al. (2014) (64)	Filtek Z250, A2: Bis-GMA, Bis-EMA e UDMA. Silorano Filtek LS, A2: Bis-3,4-Epoxiciclohexil-etil-Fenil-Metilsilano e 3,4- Epoxiciclohexil-ciclo-polimetilsiloxano.	Z250- Óxido de alumínio, sílica e óxido de zircônia (0,01-3,5 µm), 60 vol% LS- Sílica e trifluoreto de ítrio (0,04-1,7 µm), 55 vol%

22	Strini et al. (2022) (84)	Filtek Z250, A2: Bis-GMA, Bis-EMA e UDMA. Silorano Filtek LS, A2: Bis-3,4-Epoxiciclohexiletil-Fenil-Metilsilano e 3,4-Epoxiciclohexil-ciclo-polimetilsiloxano.	FZ350: Nanopartículas de sílica não aglomerada de 20 nm, nanopartículas de zircónia não aglomerada de 4 a 11 nm e zircónia combinada (4 a 11 nm) e sílica agregada (20 nm). Tamanho 0,6 a 1 µm. 78.5/63.3 FBF: sílica de 20 nm não aglomerada/não agregada, zircónia de 4 a 11 nm não aglomerada/não agregada, partículas agregadas de zircónia/sílica (composta por sílica de 20 nm e partículas de zircónia de 4 a 11 nm) e partículas de 100 nm de trifluoreto de itérbio: 76.5/58.5 TNC: vidro de bário, trifluoreto de itérbio, óxido misto e copolímeros (79-81 wt%). Aditivos, iniciadores, estabilizadores e pigmentos (<1,0 wt%). Tamanho das partículas entre 40nm e 3 µm, 76-77/ 53-54 SF2: SiO ₂ , vidros e óxidos: 83.5/67
23	Lima et al. (2012) (80)	Filtek Supreme A2: Resina composta nanoparticulada	ND
24	Al-Zain et al. (2017) (66)	Cor de branqueamento Tetric EvoCeram-XL com fotoiniciadores CQ e TPO.	ND
25	Germescheid et al. (2018) (78)	Restauração Filtek Bulk-fill Fluida A2: monómeros Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA e Procrilat Restauração posterior Filtek bulk-fill A2: monómeros proprietários AUDMA e AFM, DDDMA e UDMA Restauração Filtek One Bulk-fill A2: monómeros proprietários AUDMA e AFM, DDDMA e UDMA Z100 Restauração A2: Bis-GMA, TEGDMA SureFil SDR flow posterior bulk-fill A3: SDR patenteado UDMA, DMA, diluente di-funcional X-tra fil universal: BisGMA, UDMA, TEGDMA	Filtek Bulk-fill Flowable: 10nm-3,5µm de zircónia/sílica e 100nm-5,0µm trifluoreto de itérbio 64,5/42,5 Filtek bulk-fill posterior: 20nm de sílica, 4-11nm de zircónia e 100nm de carga de trifluoreto de itérbio 76,5/58,4 Filtek One Bulk-fill: 100nm de trifluoreto de itérbio, 20nm de sílica, 4-11nm de zircónia, partículas aglomeradas de zircónia/sílica 76,5/58,4 Restauração Z100: 600nm de sílica/zircónia 66 vol% SureFil SDR flow posterior bulk-fill: Ba B F Sr Al silicato de vidro 68/45 X-tra fil universal: 2-3µm Ba B Al Si vidro 86/70.1
26	Barcelos et al. (2023) (85)	Tetric EvoCeram (TET) Pasta regular-bulk-fill; UDMA, Bis-GMA, pré-polímero de óxido misto. 10 s de tempo de exposição recomendado. Opus (OPU) (pasta normal bulk-fill; monómeros UDMA. 40 s de tempo de exposição recomendado. Vittra APS (VIT) convencional; UDMA, TEGDMA. 20 s de tempo de exposição recomendado.	TET: Vidro de bário, trifluoreto de itérbio, óxidos e pré-polímeros 62,5/60 OPU: Dióxido de silício silanizado (sílica), estabilizadores e pigmentos 79/68 VIT: Zircónia, sílica e pigmentos 72-82/ 52-60
27	Braga et al. (2022) (86)	RBC bulk-fill de alta viscosidade. As restaurações foram preparadas de acordo com os três grupos: EmbPol: após a remoção do molde, as restaurações foram embutidas em resina de poliestireno. Pol: as restaurações de hemácias foram polidas como descrito para o grupo CEmPol. NotPol: as restaurações não foram polidas.	ND

Bis-GMA dimetacrilato de bisfenol A-glicidilo; Bis-EMA dimetacrilato de bisfenol A etoxilado; BAPO óxido de bisacilfosfina; CQ canforoquinona; DMAEMA metacrilato de 2-dimetilaminoetilo; N, CEMA N-cianoetilmetilanilina, DMPT NN-dimetil p-toluidina, DEPT N, N-dietanol p-toluidina; DABE Éster etílico do ácido N,N-dimetil-p-aminobenzóico EBPDMA Dimetacrilato de bisfenol-A etoxilado; ND não divulgado; PPD 1-fenil-1,2-propanodiona; PPF cargas pré-polimerizadas; SiO₂ dióxido de silício; TEGDMA dimetacrilato de trietilenoglicol; TiO₂ dióxido de titânio; TPO óxido de 2,4,6-trimetilbenzoil-difenilfosfina; UDMA dimetacrilato de uretano; RBC – resina composta

Tabela 7: Obtenção de dados relevantes de estudos selecionados.

Autor	Objetivo	Procedimento de fotopolimerização	Metodologia	Resultados
1 Leprince et al., (2011) (60)	Demonstrar que a determinação da profundidade de polimerização das resinas compostas tem de ter em conta a profundidade a que ocorre a transição entre os estados vítreo e borracha da matriz de resina.	Díodo emissor de luz (LED) BluePhase G2 modo de baixa radiação (650mW/cm ²) durante 10s e 40 s. Distância de polimerização: 0 mm	Após a fotopolimerização, as amostras foram armazenadas por 24h no escuro à temperatura ambiente (23 ± 1 °C) antes da análise. O grau de conversão (GC) foi medido na superfície superior e a cada milímetro no lado da amostra (n = 3) utilizando um espectrofotômetro Raman (DXR Raman Microscope, Thermo Scientific, Madison, WI, EUA). As medições de microdureza Vickers (MH) foram efetuadas na superfície superior e a cada milímetro no lado da amostra (n = 3) com um aparelho de teste de microdureza Durimet (Leitz, Wetzlar, Alemanha). Foi aplicada uma carga de 200 g durante 30 s na superfície.	O GC e a MH diminuíram progressivamente com a profundidade, exceto nas amostras de 10 s, para as quais se observou um aumento sub-superficial do GC e da MH (1 e 2 mm de profundidade) em comparação com a superfície superior. Para ambas as propriedades, os valores à superfície (0 mm) foram significativamente mais baixos para as amostras de 10 s do que para as de 40 s. Não se registaram diferenças significativas entre os dois tempos de irradiação para 2 mm (para GC) e 3 mm (para MH). Em profundidades maiores, os valores de GC e MH para as amostras polimerizadas durante 40 s foram significativamente mais elevados do que os das amostras polimerizadas durante 10 s. Registou-se uma correlação linear entre MH e GC.
2 Son et al. (2014) (61)	Examinar a influência da espessura da resina na polimerização de compósitos à base de silorano e metacrilato.	LCU à base de quartzo-tungsténio-halogénio (QTH) (Optilux 501 TM) 900 mW/cm ² . Distância de polimerização: 0 mm	O GC das amostras foi determinado por espectroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier (FTIR) (Nicolet 6700/8700, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, EUA). A MH das superfícies superior e inferior foi medida utilizando um aparelho de teste de dureza Vickers (MVK-H1 TM, Akashi Co., Tóquio, Japão) com uma carga de 200 g e um tempo de 15s. A MH das superfícies superior e inferior foi medida três vezes em cada amostra.	O P90 teve a microdureza mais baixa, apesar de ter o GC mais elevado entre os espécimens examinados, porque tem o teor de carga mais baixo.
3 Monterubbianesi et al. (2016) (81)	Avaliar o grau de conversão (GC) e as propriedades de microdureza (MH) de cinco resinas	Unidade LED (Elipar S10) de 1200 mW/cm ² e espectro entre 430 e 480 nm, durante 20 s. Unidade LED (Demi Ultra 1100) de 1330 mW/cm ² e espectro	O GC foi medido com o espectrofotômetro DXR FT Raman (Thermo Fischer Scientific, Zug, Suíça). Todas as amostras foram medidas no lado superior (topo) e no lado inferior (fundo),	O SDR fluido apresenta valores GC elevados com ambas as lâmpadas, enquanto, entre as amostras de alta viscosidade, os sistemas SonicFill (e especialmente o SonicFill2) demonstram excelentes valores GC. O SonicFill2 apresentou o

		compostas bulk-fill, e o desempenho de duas lâmpadas de polimerização.	entre 450 e 470 nm, durante 20s. Distância de polimerização: não revelada (ND)	imediatamente após a polimerização (t ₀), e, apenas no fundo, após 24 h (t ₂₄), também. A dureza Vickers MH (Leitz MicroHardness (Wetzal GMBH, Wetzlar, Alemanha) foi determinada nas mesmas amostras utilizadas para as medições GC, com uma carga de 50 g durante 15 s. Foram efetuadas três medições para cada amostra: no meio, a 0,15 mm e a 0,3 mm do centro.	valor GC mais elevado utilizando ambas as lâmpadas de polimerização (em t ₀ , no topo), e um GC aceitável, mesmo no caso de amostras com 5 mm de espessura. Foram encontradas diferenças significativas nos valores de MH entre os cinco materiais testados: o valor mais baixo para o SDR fluido, reforçando a necessidade de uma camada de cobertura superior, um aumento apreciável foi encontrado para o Fill Up!
4	Santini et al. (2012) (67)	Determinar o grau de conversão (GC) e a microdureza Knoop (KHN) de resinas compostas (RBCs) contendo óxido de trimetilbenzoi-difenilfosfina (TPO) fotoativado por unidades de fotopolimerização LED (LCUs) de onda múltipla ou mono-onda	As amostras foram fotopolimerizadas durante 20 s utilizando uma Bluephase G2 (1200 mW/cm ²) ou LCUs Valo polywave (1400 mW/cm ²), ou uma LCU Bluephase monowave (1100 mW/cm ²), como controlo. Todas as LCUs foram utilizadas no seu modo de alta potência a uma distância de 1 mm entre a ponta e a superfície.	O GC foi determinado utilizando um espectrofotómetro micro-Raman (LabRam 300 TM, Horiba JobinYvon, Stanmore, Middlesex, Reino Unido). Foram obtidos aleatoriamente espectros de três pontos nas superfícies superior e inferior de cada amostra. Cada amostra foi colocada num aparelho de teste de microdureza (MVK-H1, Mitutoyo Corporation TM, Tóquio, Japão). Foram efetuadas três medições da superfície superior utilizando um indentador Knoop com uma carga de 300 g aplicada durante 20 s. O mesmo procedimento foi depois repetido na superfície inferior de cada amostra.	As LCUs Polywave LED melhoraram a conversão de monómeros em polímero e a KHN nas RBCs que contêm TPO, mas não no Herculite XRV Ultra. As duas LCUs polywave LED tiveram um desempenho semelhante em diferentes materiais contendo TPO, independentemente do teor de matriz orgânica e da carga de partículas. Foi demonstrada uma correlação linear positiva entre o GC e a KHN nas três RBCs testadas. O Vit-l-escence apresentou os valores mais elevados de GC e KHN dos três materiais testados.
5	Shimokawa et al. (2017) (68)	Examinar a influência de diferentes espectros de emissão (pico único e largo espectro) de unidades de fotopolimerização (LCUs) que fornecem as mesmas exposições radiantes a valores de irradiância de 1200 ou 3600 mW/cm ² na polimerização e transmissão de luz de quatro resinas compostas (RBCs).	Single-peak (SP) LCU(Ultradent™). O chip LED foi ajustado de modo a que a mesma exposição radiante fosse fornecida em quatro condições de exposição: 1) SP irradiância padrão (SS), 2)SP alta irradiância (SH), 3) luz múltiplo (MP) com irradiância padrão (MS),4) luz MP com alta irradiância (MH). SS: potência de 49,6 mW, irradiância de 1193,8 mW/cm ² e exposição radiante de 17,9 J/cm ² . SH: potência de 149,9 mW, irradiância de 3607,9 mW/cm ² e exposição radiante de 18,04 J/cm ² .MS: potência de 51,1 mW, irradiância de 1229,9 mW/cm ² e exposição radiante de 18,4	O GC e a MH foram medidas na parte superior e inferior de 2,3 mm de diâmetro por 2,5 mm de espessura. O GC foi medido por uma plataforma de Reflectância Total Atenuada (ATR) (Specac, Orpington, Kent, Reino Unido) ligada a um espectrofotómetroTensor 27 Mid IR FTIR (Bruker, Billerica, MA, EUA). A MH foi medida 24 horas após a fotopolimerização através de três indentações de microdureza Knoop. Na parte superior e inferior de cada amostra, utilizando uma carga de 15 gf durante 8s num dispositivo de ensaio de microdureza (HM 123, Mitutoyo, Kawasaki, Kanagawa, Japão).	A MH dos materiais que apresentaram fotoiniciadores alternativos na sua composição foi maior na superfície superior com a utilização de luzes de largo espectro. No entanto, este efeito perdeu-se na superfície inferior, onde foi observada pouca luz violeta. Além disso, diferentes cores da mesma marca permitiram que diferentes quantidades de luz atingissem a parte inferior dos RBCs. Mesmo quando a mesma exposição radiante foi fornecida, os níveis de irradiância influenciaram a polimerização dos RBCs testadas. Foram alcançados valores de MH e GC equivalentes ou superiores na superfície inferior quando foram utilizados 1200 mW/cm ² em comparação com 3600 mW/cm ² .

			J/cm ² .MH: potência de 150,1 mW, irradiância de 3612,7 mW/cm ² e exposição radiante de 18,1 J/cm ² Distância de polimerização: 0 mm.		
6	Siagian et al. (2020) (69)	Comparar o efeito da utilização de unidades de fotopolimerização LED (LCUs) de segunda e terceira geração no grau de conversão (GC) e na microdureza (VHN) de resinas compostas bulk-fill.	As amostras foram fotopolimerizadas durante 20s utilizando uma luz de polimerização LED de segunda geração (SmartLite™) e 40s utilizando uma luz de polimerização LED de terceira geração (Bluephase™). Distância de polimerização: 0 mm.	As amostras foram imersas numa solução de água destilada em frascos de plástico e armazenadas numa incubadora a 37°C durante 24 horas. O GC foi determinado utilizando FTIR e a MH foi testada com o aparelho de microdureza Vickers (VMH) nas superfícies superior e inferior, com uma carga de 300 g durante 15 s. Cada superfície do espécime (superior e inferior) foi dividida em cinco quadrantes; foi efectuada uma indentação para cada quadrante.	Os resultados mostraram que havia diferenças significativas entre o valor de GC e VMH entre todos os grupos de resinas compostas bulk-fill que foram polimerizadas por LCU LED de terceira geração e LCU LED de segunda geração. Não há diferença significativa entre os valores de GC das três resinas compostas bulk-fill que são polimerizadas por (LED de segunda geração vs LED de terceira geração). O teste VMH mostrou que havia diferenças significativas na resina composta FB Posterior Restorative. As LCUs LED de segunda geração podem ainda ser utilizadas para a polimerização de resinas compostas bulk-fill, aumentando o tempo de irradiação.
7	Furuse et al. (2011) (70)	Avaliar o grau de conversão (GC), contração de polimerização, taxa de contração de polimerização, microdureza Knoop (KMH) e estabilidades de cor e transmitância de resinas compostas experimentais contendo diferentes co-iniciadores de amina.	Foram avaliados três protocolos de polimerização: 20s, 40s, e 40s mais 7min adicionais de fotopolimerização. Unidade de fotopolimerização QTH (Optilux 501) a funcionar no modo padrão e a emitir uma irradiância de 760mW/cm ² . Distância de polimerização: não divulgada.	O GC foi analisado por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (Avatar 360 FTIR ESP, Nicolet Analytical Instruments, Reino Unido). Os valores de GC foram obtidos após 0 h, 1 h, 24 h e 168 h (7 dias) de armazenamento no escuro à temperatura ambiente (23 ± 1 °C). O KMH foi avaliado nas mesmas amostras utilizadas nas análises GC após a avaliação de 7 dias. Foram efetuadas cinco indentações por amostra utilizando um instrumento de microdureza (FM-700, Future-Tech Corp., Tóquio, Japão), sob uma força de 10 gf durante 20 s.	Todas as propriedades foram influenciadas pelas aminas. A resina contendo DMAEMA apresentou maior GC, contração de polimerização, taxa de contração de polimerização e microdureza, além de melhores propriedades óticas.
8	Torres et al. (2014) (71)	O efeito de diferentes unidades de fotopolimerização (LCUs) e profundidades no grau de conversão (GC) da resina	Os fatores de estudo foram a profundidade de polimerização em quatro níveis (2, 3, 4 e 5 mm polimerizados durante 40 s) e as unidades de fotopolimerização RC (LED, Radian-cal, SDI Limited, Bayswater, Austrália), BP (LED, Bluephase G2, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) e OP	Um espectrofotómetro FTIR (Nicolet 6700, Thermo Fisher Scientific Inc, Fitchburg, WI, EUA) foi acoplado a um microscópio (Centaurus, Thermo Fisher Scientific Inc) e a um acessório de reflectância total atenuada para determinar um GC. Foram efetuadas cinco indentações na parte inferior dos 48 espécimens sob uma força de 50 gf durante 50 segundos. A KHN foi determinada	Após 40 s de exposição à luz, as diferentes LCUs (halogéneo ou LED) não afetaram o GC e a KHN da nova resina composta à base de silorano nas profundidades de 2, 3, 4 e 5 mm. Os valores de GC e KHN diminuíram com o aumento da profundidade. Os valores mais elevados de GC e KHN foram obtidos nas profundidades de 2-3 mm. Embora o LS tenha apresentado um GC satisfatório, os baixos valores de dureza Knoop

		composta à base de silorano	(luz de halogéneo, Optilux 501). Distância de polimerização: não divulgada.	num aparelho automático de microdureza (FM-ARS-9000, Future Tech Corp, Kawasaki, Japão)	sugerem a necessidade de mais estudos que abordem a resistência ao desgaste destes materiais.
9	LEE et al. (2013) (74)	Examinar o efeito de várias unidades de fotopolimerização (LCUs) na polimerização de resinas compostas de baixa contração.	LCU de quartzo-tungstênio-halogênio (QTH) [Hilux 601 (HX). Díodo emissor de luz (LED) de pico único L.E.Demetron 1 (DE) LED de duplo pico G-light (GL), fotopolimerização durante 40s. Distância de polimerização: 0 mm.	O GC dos espécimens polimerizados foi avaliado após 24 horas com espectroscopia FTIR (Nicolet 6700, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, EUA). Depois de armazenados durante 24 horas na câmara depolimerização, o KMH das superfícies superior e inferior foi medido utilizando um medidor de dureza Vickers (MVK-H1, Akashi Co., Tóquio, Japão) com 200 gf durante 10 s	A luz incidente de cada LCU mostrou uma atenuação significativamente diferente, mas consistente, dentro das amostras. No entanto, o GC, MH e a contração de polimerização dos espécimens, que refletem o grau de polimerização, não mostraram nenhuma correlação consistente com as LCUs testadas, como foi consistentemente observado no caso do coeficiente de atenuação.
10	Heo et al. (2013) (73)	Avaliar o efeito da densidade de energia na polimerização de resinas compostas de baixa contração.	Luz QTH (Hilux 601), intensidade luminosa de 900 mW/cm ² ; tempo de intensidade luminosa de 36, 27, 24 e 18 J/cm ² ; laser DPSS (LVI-VA473-250 [DPSS], com um comprimento de onda de 473 nm, intensidade da luz 600 mW/cm ² , tempo de intensidade da luz 24, 18, 16 e 12 J/cm ² A fotopolimerização foi efetuada durante 30 ou 40 s. Distância de polimerização: 0.	O GC das resinas polimerizadas foi avaliado através de espectroscopia FTIR (Nicolet 6700, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA). A MH das superfícies superior e inferior foi medida utilizando um aparelho de microdureza Vickers (MVK-H1, Akashi Co., Tóquio, Japão) após 24 horas. Foram efetuadas microindentações (n = 15 para cada condição de teste) em cada superfície sob uma carga de 200 gf e 10 s.	A densidade de energia (tempo de polimerização da intensidade da luz) correlacionou-se linearmente com o GC, a MH, o índice de refração e a contração da polimerização, independentemente da posição da superfície, da LCU e do produto de resina. Além disso, o GC, a MH e o índice de refração estavam linearmente correlacionados entre si. Entre os espécimens testados, o LS mostrou uma contração de polimerização significativamente menor do que o resto dos produtos de resina em todas as densidades de energia. Os espécimens fotopolimerizados com o laser DPSS atingiram um grau de polimerização comparável ao da unidade QTH convencional, se os espécimens fossem preparados com a mesma intensidade de luz ou com uma intensidade de luz semelhante.
11	LEE et al. (2012) (72)	Avaliar o efeito do LED de pico duplo na polimerização de resinas compostas contendo iniciador.	QTH LCU (Optilux 501) (OP), intensidade luminosa de saída 750 mW/cm ² , 40 s. LED G-light (GL); intensidade luminosa de saída 900 mW/cm ² , 40 s. L.E. Demetron (DM), intensidade luminosa de 900 mW/cm ² , 40 s. Distância de polimerização: 0 mm.	Após 24 h, a MH das superfícies superior e inferior foi medida utilizando um aparelho de teste de dureza Vickers (MVK-H1, Akashi Co., Tóquio, Japão). Foram efetuadas microindentações (n=15 para cada condição de teste) em cada superfície sob uma carga de 200 gf com um tempo de permanência de 10 s. O GC das resinas polimerizadas foi avaliado utilizando FTIR (Nicolet 6700/8700, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, EUA).	O LED de picos duplos (GL) produziu um MH muito mais elevado do que o do QTH (OP) e o LED de um pico (DM) LCU nas resinas compostas que se acredita conterem um iniciador (PPD ou TPO). No entanto, na avaliação do GC e da contração da polimerização para o iniciador que contém resinas compostas, não foi encontrada nenhuma diferença consistente entre o LED de pico duplo e as restantes LCUs.
12	Al-Zain et al. (2019) (75)	Investigar a relação entre as áreas do perfil do feixe de irradiância de seis	QTH [Optilux 401 (O), controle Unidade MLED Bluephase Style (BS)	Os espécimens foram armazenados secos a 37 °C durante 24 h.	Não houve nenhuma LCU que criasse padrões de polimerização semelhantes em todos os pontos localizados avaliados dentro dos espécimes, no que diz respeito à redução de GC, KH e %KH,

	unidades de fotopolimerização diferentes (LCUs) e o grau de conversão (GC), a microdureza (KH) e a densidade de reticulação (CLD) de uma resina composta (RBC) polimerizado a duas distâncias clinicamente relevantes e explorar as correlações entre elas	Unidade MLED SmartLite Max (SM) Unidade MLED Valo Cordless (V), Ultradent TM Unidade SLED Demi (D) SLED Demi Ultra (DU). Distância de polimerização: 2 e 8 mm.	O mapeamento do GC foi efetuado utilizando espectroscopia microRaman (FORAM, CRAIC Technologies, San Dimas, CA). O mapeamento da KH foi efetuado nas superfícies superior e inferior e em cada fatia colhida em locais padronizados, utilizando uma plataforma de dureza automatizada (plataforma automática Clemex ST-2000, Norwood, MA) montada no aparelho de teste de dureza (Instron, Wilson-Tukon modelo 2100B, Norwood, MA) com uma carga de 50 g e 10 s.	independentemente da distância de polimerização. Os perfis de feixe de irradiância não uniformes não parecem ter uma grande influência nas discrepâncias de polimerização localizadas dentro dos espécimens no que diz respeito à redução do GC, KH e %KH em ambas as distâncias de polimerização. (as unidades SLED utilizadas neste estudo não comprometeram a polimerização do RBC de duplo fotoiniciador). A ativação efetiva da TPO diminui gradualmente até aproximadamente 1 mm de profundidade utilizando o QTH ou o MLED em comparação com as unidades SLED, independentemente da distância de polimerização. As correlações dos valores GC com a redução correspondente de KH e %KH nos pontos localizados dentro dos espécimens foram moderadas a fracas e variaram para cada LCU, profundidade e distância de polimerização.	
13	AlShaaf (2019) (79)	Avaliar os efeitos da polimerização de duas resinas compostas (RBC) com as mesmas exposições riantes a 730, 1450 e 2920 mW/cm ² .	Cada amostra foi fotoativada no modo de polimerização atribuído durante 5, 10 ou 20 s. LED de alta potência, Valo em três potências de polimerização: 730,1450,2920 mW/cm ² . Distância de polimerização: 0 mm.	O GC foi recolhido com o espectrofotômetro FTIR (Tensor 27, Bruker Optics Inc., Billerica, MA, EUA). A MH foi recolhida com um dispositivo de teste de dureza Knoop automatizado (Mitutoyo Canada Inc., Mississauga, ON, Canadá) com uma carga de 50 g durante 10 s. Após a MH, foram efetuadas medições (em nove pontos de mapeamento na superfície da amostra), primeiro na parte inferior e depois na superfície superior. Tanto o GC como a dureza Knoop foram novamente testadas às 24h e aos 7 dias, respetivamente.	Apesar das diferenças nos tempos de exposição, desde que as RBCs tenham recebido as mesmas exposições riantes, as diferenças de irradiância entre 730 e 2920 mW/cm ² não tiveram efeito significativo no GC e KHN de ambas as resinas compostas testadas. No entanto, isto pode não ser necessariamente válido para outras propriedades dos materiais testados. Desde que seja fornecida uma energia de 14,6 J/cm ² , as restaurações de RBC fotopolimerizáveis em períodos curtos (ou seja, tão curtos como 5 s) podem ser bem sucedidas. As propriedades físicas do RBC devem ser testadas imediatamente e, pelo menos, 24 horas após a fotopolimerização, porque as propriedades continuam a melhorar com o tempo (até um aumento de 15,1%).
14	Miletic et al. (2016) (83)	Determinar e correlacionar o grau de conversão (GC) com a dureza Vickers (VH) e o parâmetro de translucidez (TP) com a profundidade de polimerização	As resinas compostas foram aplicadas: (1) Camadas de 2 mm de espessura fotopolimerizadas durante 10 s. (2) Camada de 4 mm fotopolimerizada durante 10 s, (3) Camada de 4 mm durante 20 s. (4) Camada de 6 mm fotopolimerizada durante 20 s.	Todos os espécimens foram armazenados secos, em recipientes à prova de luz, a 37 °C durante 24 h. O GC foi medido utilizando um FTIR equipado com um cristal de reflexão única ATR de platina (Vertex 70, Bruker Optik, Ettlingen, Alemanha) na parte superior do fundo. A VMH foi medida utilizando um aparelho de ensaio de dureza Vickers (FV-700, Future-Tech, Kawasaki-ku, Japão), equipado com uma fase	As resinas compostas bulk-fill fluidas e esculpíveis, de base e de profundidade total, ativados por ultra-sons e reforçados com fibras diferem para GC, VH, DoC e TP após os quatro procedimentos de enchimento diferentes, dependendo do tempo de polimerização e da profundidade do bulk-fill. Para as resinas compostas bulk-fill fluidas, foi suficiente uma fotopolimerização de 10 s com uma unidade de

		(DoC) de cinco resinas compostas bulk-fill.	Unidade de fotopolimerização LCU polywave LED (Bluephase 20i). Distância de polimerização: não divulgada.	XY controlada por computador, que permitiu a indentação automática em pontos pré-selecionados na superfície da parte superior da parte inferior. Foram efetuadas cinco medições na superfície superior e inferior de cada espécime, aplicando uma carga de 1 kg durante 10 s com uma ampliação de 10 vezes.	fotopolimerização LED de alta intensidade, enquanto os as resinas compostas bulk-fill não fluidos ou esculpíveis têm valores superiores de polimerização durante, pelo menos, 20 s. O GC e o VH correlacionaram-se positivamente nas partes mais profundas das resinas compostas bulk-fill. Os rácios VH significativamente mais baixos e VH inferior a 80 % sugerem que nenhuma resina composta bulk-fill é recomendado para uma colocação incrementos de 6 mm.
15	Ferreira et al. (2015) (63)	Avaliar o efeito de diferentes comprimentos de onda de pico (450nm, 468nm e 490nm) de LEDs experimentais na dureza, módulo de elasticidade, grau de conversão e aumento de temperatura de uma resina composta micro-híbrida - Venus (Heraeus Kulzer).	LED LCUs MMOptics, densidade de potência 350mW/cm ² e densidade de energia 21 J/cm ² . Tempo de polimerização: 60s. Distância de polimerização: não divulgada.	Após a fotoativação, os espécimens foram armazenados durante 48 horas num recipiente escuro, a uma humidade relativa de 100% a 37 °C. Nanoindentação utilizando um indentador de diamante de geometria Berkovich num Nanoindenter XP (MTS System Corporation, Oak Ridge, TN, EUA). Foi utilizada para avaliar a dureza e o módulo de elasticidade das superfícies superior e inferior dos espécimes, com 400 mN aplicados durante 30 segundos. Foram efetuadas 25 indentações em cada superfície de cada espécime. O GC dos espécimens foi medido por FTIR em modo de refletância, utilizando um acessório de refletância total atenuada (ATR) num espectrofotómetro (Spectrum One B, Perkin-Elmer, Beaconsfield, Bacon, UK).	A dureza e o módulo de elasticidade foram afetados pelo comprimento de onda dos LED LCUs, com os valores mais elevados para 468 nm. No entanto, tanto as variações de GC como as de temperatura não foram afetadas pelos comprimentos de onda dos LED LCUs avaliados.
16	Giorgi et al. (2014) (62)	Avaliar a influência da ativação por luz do segundo, terceiro e quarto incrementos no grau de conversão (GC) e na microdureza (KHN) da superfície superior (T) e inferior (B) do primeiro incremento.	Halogéneo de quartzo-tungsténio XL 3000 Terceira geração de LEDs Valo-Ultradent protocolos de ativação da luz: (XL): 500 mW/cm ² durante 38 s; Padrão (S): 1000 mW/cm ² durante 19 s; Alta potência (HP): 1400 mW/cm ² durante 14 s; Emulação de plasma (PE): 3200 mW/cm ² durante 6 s. Modo de exposição em dois níveis (irradiação múltipla ou única). Distância de polimerização: 8 mm.	As medições do GC foram registadas em modo de absorvância com um espectrofotómetro FTIR (Spectrum 100 FTIR, PerkinElmer, Waltham, MA) acoplado a um acessório de reflexão total atenuada (ATR) de seleneto de zinco de reflexão múltipla (seis). Os valores de KHN das superfícies superior e inferior do primeiro incremento foram obtidos utilizando um aparelho de teste de microdureza digital (HMV-2T E, Shimadzu Corporation, Tóquio, Japão), sob uma carga de 10 g durante 10 s. O KHN foi registado como a média das cinco indentações.	A técnica de restauração incremental implica a exposição múltipla à luz dos incrementos anteriormente inseridos. Esta exposição sucessiva não influenciou a microdureza e o grau de conversão do primeiro incremento nas superfícies superior e inferior. Um protocolo de ativação por luz que forneceu 3200 mW/cm ² em 6 s resulta numa menor microdureza na superfície inferior do que os outros protocolos de ativação por luz.

17	Catelan et al (2015) (82)	Avaliar o impacto da distância entre a ponta do guia de luz da unidade de polimerização e a superfície do material no grau de conversão (GC) e na microdureza Knoop de uma resina composta	Unidade de polimerização por diodo emissor de luz (LED) de segunda geração Bluephase 16i a 1390 mW/cm ² . A fotopolimerização foi realizada durante 20s a 0 (controle), 2 e 4 mm de distância entre a superfície do material e a ponta do guia de luz do dispositivo, simulando o procedimento clínico de restauração numa cavidade profunda.	As amostras foram retiradas do molde e armazenadas a seco num frasco à prova de luz a 37°C durante 24 h. A taxa GC das superfícies superior e inferior foi medida utilizando um espectrofotômetro Raman com transformada de Fourier (FT-Raman) (RFS 100/S, Bruker Optics Inc., Billerica, MA). As leituras de microdureza foram efetuadas nas superfícies superior e inferior de cada amostra utilizando um aparelho de teste de microdureza (HMV-2T E; Shimadzu Corporation, Tóquio, Japão) sob uma carga de 50 g durante 15 s.	A fotopolimerização à distância pode influenciar negativamente as propriedades físicas e afetar a durabilidade a longo prazo das restaurações das resinas compostas, pelo que se recomenda a utilização de um dispositivo de polimerização com maior irradiância nesta situação.
18	Atali et a (2022) (76)	Investigar o grau de conversão (GC), a microdureza (MH), o rácio de dureza, a resistência à flexão, o módulo de elasticidade e a avaliação SEM de sete diferentes resinas compostas universais de tom único.	As amostras de resinas compostas foram fotopolimerizadas com uma irradiância de 1100 mW/cm ² (Demi-Ultra LED Curing Unit) durante 20 s em três pontos consecutivos. Distância de polimerização: não referenciada.	GC foi registado utilizando FTIR (FT/IR-4000, JASCO, Tóquio, Japão). Foram efetuadas três indentações Vickers aleatórias nas superfícies superior e inferior utilizando uma máquina de testes (Micro Hardness Tester HMV-2, Shimadzu, Tóquio, Japão), sob carga: 0,49N/g durante 15 s, após os períodos de armazenamento de 24 h e 15 dias.	O efeito principal das resinas compostas universais de tonalidade única testados (SsURCs) foi considerado estatisticamente significativo nos valores de resistência à flexão (FS), módulo de elasticidade (EM), VHN e GC. Os SsURCs sem Bis-GMA (AFX, DO, VU) mostraram melhor GC e razão de dureza (HR) exceto para OC. Todos os sete SsURCs testados estão em conformidade com os requisitos das normas ISO para resinas compostas para todas as categorias testadas.
19	Tarle et al. (2014) (77)	Avaliar a influência do tempo de irradiação no grau de conversão (GC) e na microdureza de resinas compostas de alta viscosidade em profundidades até 6 mm.	Tempos de irradiação 10, 20 e 30 s. Unidade de polimerização LED Polywave, Bluephase G2 em modo de alta intensidade; intensidade da luz de saída (1.170 mW/cm ²). Distância de polimerização: 0 mm.	O GC e a microdureza foram registadas após 24 horas de armazenamento no escuro (37 °C) em cinco profundidades de medição: 0,1, 2, 4, 5 e 6 mm. O GC foi medido por espectroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier (FTIR; Modelo 2000, Perkin Elmer, Beaconsfield, Bucks, Reino Unido). A KHN foi determinada nos espécimens das resinas compostas a cinco distâncias da superfície exposta à luz (0,1, 2, 4, 5 e 6 mm), utilizando um aparelho de teste de microdureza digital (modelo n.º 1600-6106, Buehler, Lake Bluff, IL, EUA), tendo sido aplicada uma carga de 10 g, com um tempo de 20 s.	O aumento do tempo de irradiação aumenta o GC e a KHN nas camadas mais profundas das resinas compostas. As resinas compostas bulk-fill testadas podem ser utilizadas com segurança até uma espessura incremental de pelo menos 4 mm. No entanto, no que respeita à dureza, apenas o XF e o QF obtiveram resultados aceitáveis a 4 mm de profundidade com 30 s de irradiação. Os tempos mínimos de irradiação indicados pelos fabricantes não podem ser recomendados para a colocação de resinas compostas bulk-fill de alta viscosidade em incrementos de 4 mm.

20	Garoushi et al. (2015) (65)	Avaliar as características de transmissão de luz, o grau de conversão de monómeros (GC) e a microdureza da superfície das resinas compostas bulk-fill, convencionais e reforçadas com fibras (RBCs) através de diferentes espessuras incrementais de resina composta.	Unidade de fotopolimerização com uma irradiância de 1000 mW/cm ² EliparTM FreeLight 2. Para cada material, foram consideradas quatro espessuras incrementais diferentes (1, 2, 3 e 4 mm) e fotopolimerizadas durante 40s. Distância de polimerização: 1 mm.	Após 24 horas, o GC dos RBCs durante e após a polimerização foto-iniciada foi monitorizada por FTIR (Spectrum One, perkinElmer, Beaconsfield Bucks, Reino Unido) com um acessório de amostragem de reflectância total atenuada (ATR). Após 24 horas, foi medida a MH da superfície de espécimens com 4 mm de espessura utilizando um microscópio de dureza Struers Duramin (Struers, Copenhaga, Dinamarca) com uma carga de 981, 2 mN aplicada durante 10 s; em cada amostra, foram registradas seis medições no lado superior e seis no lado inferior.	Registaram-se diferenças na transmissão de luz das resinas compostas de vários tipos e marcas. as resinas bulk-fill de baixa viscosidade e os RBCs reforçados com fibras curtas proporcionaram uma maior transmissão de luz em comparação com as resinas compostas de maior viscosidade. A transmissão de luz reduzida e a menor microdureza da superfície e GC % no lado inferior do espécime sugerem que é necessário prestar mais atenção para garantir a polimerização adequada da resina composta em cavidades profundas.
21	Catela et al. (2014) (64)	Avaliar o efeito de diferentes exposições radiantes no grau de conversão (GC), número de dureza Knoop (KHN), plastificação (P), sorção de água (WS) e solubilidade (S) de diferentes resinas compostas à base de monómeros.	As cavidades foram preenchidas com apenas um incremento de resina composta, que foi fotopolimerizada aleatoriamente a 0 ou 4 mm da superfície superior do molde, utilizando um dispositivo de diodo emissor de luz (LED) Bluephase 16i de segunda geração a 1.390 mW/cm ² de irradiância. G1 Metacrilato / G5 Silorano: 20 s, 4 mm, 990 mW/cm ² e 19,8 J/cm ² G2 Metacrilato / G6 Silorano: 20 s, 0 mm, 1.390 mW/cm ² e 27,8 J/cm ² G3 Metacrilato / G7 Silorano: 40 s, 4 mm, 990 mW/cm ² e 39,6 J/cm ² G4 Metacrilato / G8 Silorano: 40 s, 0 mm, 1.390 mW/cm ² e 55,6 J/cm ²	Após a polimerização, os espécimens foram retirados dos moldes e armazenados a seco em recipientes à prova de luz a 37°C durante 24 h. A avaliação do GC foi registado no modo de dispersão utilizando um espectrofotômetro Raman com transformada de Fourier (FT-Raman) (RFS 100/S; Bruker Optics Inc., Billerica, MA, EUA), equipado com um laser Nd:YAG. A leitura da microdureza inicial (MHi) foi medida nas superfícies superior e inferior de cada espécime utilizando um aparelho de teste de microdureza (HVM-2T; Shimadzu, Tóquio, Japão) sob uma carga de 50 g durante 15 s.	O desempenho clínico das restaurações de resina composta pode ser influenciado pelas propriedades físicas. Em geral, as diferentes exposições radiantes avaliadas não afetaram as propriedades físicas testadas, mas estas propriedades foram influenciadas pela composição química da resina composta.

22	Strini et al. (2022) (84)	Avaliar a microdureza Knoop (KHN), a resistência à tração diametral (DTS) e o grau de conversão (DC) de três resinas compostas Bulk-Fill e uma convencional.	Cada incremento (convencional 2mm e Bulk-Fill 4 mm) foi fotopolimerizado de acordo com o tempo recomendado pelo fabricante para cada resina composta (20s para FBF, SF2 e FZ350, e 10s para TNC), utilizando um LED VALO TM de 3ª geração no seu modo de saída padrão, a uma distância de 1mm da superfície.	O GC das superfícies do fundo foi obtido por FTIR - Spectrum 100 FTIR/ATR (Perkin Elmer, Waltham, MA, EUA) com um indentedor de diamante Knoop sob uma pressão de 10 g durante 10s. Foram efetuadas cinco medições na superfície de cada amostra pelo mesmo operador, uma no centro da amostra e as outras quatro a uma distância de ~100 µm da localização central. As amostras foram retiradas do molde e armazenadas a seco a 37 ± 1°C durante 24 h num abrigo de luz. O teste de microdureza foi efetuado nas superfícies superior e inferior de cada amostra, utilizando a máquina de microdureza de superfícies Future Tech FM-ARS (Future-Tech Corp., Tóquio, Japão).	As diferenças na composição das resinas compostas Bulk-Fill avaliadas resultaram em resultados diferentes para as análises in vitro realizadas. Das resinas compostas Bulk-Fill, a FBF apresentou os melhores resultados de KHN e DTS. A SF2 apresentou o melhor GC. No entanto, continua a ser necessário saber se estas diferenças podem influenciar negativamente o comportamento das restaurações in vivo.
23	Lima et al. (2012) (80)	Avaliar os efeitos de diferentes fontes de luz e tempo de polimerização no grau de conversão e microdureza de duas superfícies dentro de uma resina composta nanoparticulada.	Grupo 1 (G1): QTH Optilux 501, 600 mW/cm ² de irradiância; 600 mW/cm ² ; tempo de polimerização de 20s. Grupo 2 (G2): QTH Optilux 501, 600 mW/cm ² de irradiância; 600 mW/cm ² ; tempo de polimerização de 40s. Grupo 3 (G3): LED Ultralume 5, 800 mW/cm ² de irradiância; 820 mW/cm ² ; tempo de polimerização de 20s. Grupo 4 (G4): LED Ultralume 5, 800 mW/cm ² de irradiância; 820 mW/cm ² ; tempo de polimerização de 40s. Distância de polimerização: 2 mm.	Após os procedimentos, os espécimens foram armazenados secos, a 37°C, durante 24 h. As medições do GC foram efetuadas com FTIR-ATR (Spectrum 100 Optica; PerkinElmer, MA, EUA). As medições de MH foram obtidas utilizando um aparelho de teste de microdureza (HNV-2T, Shimadzu Corp., Tóquio, Japão) com uma carga de 50 g e um tempo de permanência de 15 s. Foram efetuadas três indentações em cada superfície, com uma distância relativa de 100 µm.	A lâmpada QTH promove melhores valores no GC dentro da resina composta nanoparticulada do que a lâmpada LED. No entanto, o método de fotopolimerização testado não difere em termos de avaliação da microdureza. O tempo de fotopolimerização prolongado promove um aumento da microdureza e os resultados obtidos no topo do incremento foram superiores aos da base em todas as condições experimentais. No entanto, o tempo alargado de polimerização (40 s) não influencia o grau de conversão do material testado.
24	Al-Zain et al. (2017) (66)	Avaliar o perfil de luz irradiado por duas unidades de fotopolimerização (LCUs) e a relação do perfil com os padrões de polimerização numa resina composta (RMC).	MLED LCU Estilo Bluephase QTH LCU Optilux 401 Distância de polimerização: 2 mm. O tempo de polimerização para cada LCU foi ajustado para fornecer uma exposição radiante de 10 J/cm ² na superfície superior, conforme especificado pelo fabricante.	Após a polimerização, os espécimens foram retirados dos moldes, embrulhados em folha de alumínio e armazenados secos a 37°C durante 24 h. Teste de MH - estágio de dureza automatizado (Clemex ST-2000 automatic stage, Norwood, MA) montado num aparelho de teste de dureza (Instron, Wilson-Tukon modelo 2100B, Norwood, MA) sob 50 g de carga e 10s para 50 indentações.	A polimerização com a MLED LCU ou com a QTH LCU mostrou diferenças significativas localizadas na redução do GC e %KH. A polimerização com a MLED LCU demonstrou menos variações significativas entre pontos localizados. O perfil do feixe das LCUs pareceu ter uma influência menor no padrão de redução do GC e %KH em todo o material polimerizado. Uma abordagem de mapeamento forneceu mais detalhes da polimerização em relação à redução do GC

			O GC foi medido por espectroscopia micro-Raman (FORAM, CRAIC technologies, San Dimas, CA).	e %KH, em comparação com a média dos valores em cada um deles.	
25	Germescheid et al. (2018) (78)	Determinar a pós-polimerização em seis resinas compostas contemporâneas comerciais (RBCs) utilizando a contração axial, o grau de conversão (GC) e a dureza Vickers (MH).	As RBC foram fotopolimerizadas durante 20 s utilizando uma unidade de LED Paradigm Deep Cure LED baseada num único comprimento de onda de pico de emissão, para tempos de exposição de 20, 5, 3, 1,5 e 1 s. Esta LCU forneceu uma saída radiante de 1,1W/cm ² e o comprimento de onda de saída foi de 455nm. Distância de polimerização: não divulgada.	O GC foi medido utilizando um FTIR (Tensor 27, Bruker, Billerica, MA, EUA) equipado com uma unidade ATR com controlo de temperatura (Golden Gate, Specac, Orpington, Kent, Reino Unido). A MH foi medida na parte superior da superfície inferior (HM 123, Mitutoyo, Kawasaki, Kanagawa, Japão) em amostras de RBCs uma hora após a exposição à luz. Foram efetuadas três indentações com um intervalo de 0,5 mm na superfície superior e inferior de cada amostra, com uma carga de 300 g aplicada durante 8 s.	A dureza do RBC fotopolimerizado foi variada através da utilização de diferentes tempos de exposição à luz. As duas primeiras técnicas experimentais mostram que quanto maior for o GC inicial 10 min após a exposição à luz, menores serão as taxas de contração e de envelhecimento físico relacionadas com o GC após a polimerização. Foi observada uma correlação direta entre as taxas de envelhecimento físico relacionadas com a contração e as taxas de envelhecimento físico relacionadas com a DC.
26	Barcelos et al. (2023) (85)	Analisar o efeito da utilização do tempo de exposição recomendado pelo fabricante de resinas compostas no grau de conversão (GC), na dureza Knoop (KH) e no módulo de elasticidade (E) de resinas compostas convencionais e bulk-fill (RBCs).	Optilight Max: Monowave Gnatus TM, 7 mm de diâmetro interno da ponta, 420-480 nm de comprimento de onda e 1800 mW/cm ² . Radii-Cal: Monowave SDI TM, 7,2 mm de diâmetro interno da ponta, 440-480 nm de comprimento de onda e 1250 mW/cm ² . Bluephase G2: Multiwave, 9,0 mm de diâmetro interno da ponta, 385-515 nm de comprimento de onda e 1394 mW/cm ² . VALO Cordless: Multiwave Ultradent TM, 9,7 mm de diâmetro interno da ponta, 395-480 nm de comprimento de onda e 1298 mW/cm ² . Distância de polimerização: 0 mm.	Após 24 horas de armazenamento seco a 37°C no escuro, os espécimens foram submetidos ao teste KH. O GC na parte superior e inferior foi avaliado em três pontos (2 mm de distância entre cada medição) utilizando um espectrofotómetro LabRam HR Evolution Raman (Horiba LabRam, Villeneuve d'Ascq, França). Os valores de indentação KH foram obtidos utilizando um aparelho de teste de microdureza (FM700, Future Tech Corp, Kawasaki, Japão), aplicando 500 g durante 15 segundos; foram efetuadas cinco indentações com 1 mm de intervalo na região central de cada superfície (superior/inferior), com uma distância de 1 mm entre elas.	Todos os RBCs de 2 mm de espessura atingiram um rácio de dureza de baixo para cima de pelo menos 80% após 24 horas de armazenamento quando foram utilizados os tempos de exposição à luz recomendados. O Opus Bulk-fill APS, que foi fotoativado durante 40 segundos, obteve propriedades mecânicas mais elevadas do que o Tetric Evoceram Bulk-fill, que foi fotoativado durante 10 s. O Bluephase G2, o VALO Cordless, o Radii Cal e o Optilight Max tiveram um desempenho semelhante para todas as resinas compostas testadas. Assim, os RBCs que contêm sistemas fotoiniciadores Ivocerin ou APS podem ser fotoativados utilizando LCUs de onda única ou de onda múltipla.
27	Braga et al. (2022) (86)	Avaliar o efeito da preparação da amostra e das unidades de fotopolimerização (LCUs) na dureza Knoop e no grau de	Tempo de exposição 40 s nas regiões ocluso-mesial e 40 segundos nas regiões ocluso-distal por um operador bem treinado. VALO Cordless utilizado na potência padrão (Ultradent TM, 1298 ± 3,3 mW/	O GC nas caixas proximais mesial e distal foi avaliado em cinco locais: M1: ocluso-mesial; M2: caixa proximal mesial; O: oclusal; D1: ocluso-distal; D2: caixa proximal distal. O GC foi medido utilizando um espectrofotómetro Raman LabRam HR Evolution (Horiba LabRam, Villeneuve d'Ascq, França).	A preparação das amostras, com espécimens polidos antes do teste, reduziu as diferenças entre os valores de KH e GC de um RBC bulk-fill. Quando o RBC foi fotopolimerizado durante 40 segundos nas regiões ocluso-mesial e 40 segundos nas regiões ocluso-distal, não foram encontradas diferenças significativas entre o estilo

conversão de restaurações de resinas compostas bulk-fill.	cm ² e 395-480 nm de espectro de emissão. Bluephase G2 1394 ± 4,5 mW/cm ² e 385-515 nm de espectro de emissão. Distância de polimerização: 1 mm.	Foram efectuadas dez indentações KMH superiores e inferiores na caixa proximal e 8 na caixa oclusal (Shimadzu HMV 2000; Shimadzu Corporation; Quioto, Japão) utilizando 50 g durante 10 s a cada 1,0 mm	caneta Valo Cordless e o Bluephase G2 que tinha uma guia de luz quando se utilizava uma abertura bucal interincisal de 44 mm.
---	--	---	---

4. DISCUSSÃO

A presente revisão sistemática reuniu os resultados mais relevantes relativos à influência da fotoativação na polimerização de resinas compostas convencionais e bulk-fill no grau de conversão de monómeros e na micro-dureza. Durante a pesquisa foram recolhidos dados relevantes sobre fotoativadores e o papel importante do tempo de exposição, distância e a sua influência sobre os incrementos de resina composta quer convencional, quer bulk-fill. Os dados recolhidos na presente revisão sistemática permitem a validação da primeira hipótese indicando que o modo de polimerização afeta o grau de conversão de monómeros (GC) e a micro-dureza (MH) das resinas compostas convencionais e bulk-fill. Foi também de crucial importância verificar o papel fundamental do sistema fotoiniciador, no GC e MH das resinas compostas, validando assim a segunda hipótese do presente estudo.

4.1 Composição das resinas compostas convencionais e bulk-fill

Os diferentes monómeros que compõem as resinas compostas, convencionais ou bulk-fill, influenciam o GC alcançado após a fotoativação. Cada monómero de metacrilato apresenta diferentes viscosidades, diferente flexibilidade e mobilidade. Verificou-se que quanto maior a viscosidade dos monómeros, menor a flexibilidade da sua estrutura química o que provoca menor mobilidade da cadeia monomérica resultando num GC inferior (69,76,81,85). Resinas compostas que contêm metacrilato de bisfenol A-glicidilo (Bis-GMA) resultam num GC inferior devido à baixa mobilidade da cadeia monomérica. Uma das estratégias utilizadas para aumentar o GC das resinas compostas que contêm Bis-GMA na sua composição, é a sua substituição ou combinação com dimetilacrilato de uretano (UDMA) ou com dimetilacrilato trietilenoglicol (TEGDMA), uma vez que estes monómeros têm baixa viscosidade, maior mobilidade e maior flexibilidade quando comparados com o Bis-GMA (64,67,69,70,76). Na presente revisão sistemática foi possível verificar que nas resinas convencionais os monómeros mais utilizados nas suas formulações foram: Bis-GMA, UDMA, TEGDMA e Bis-EMA (65,78,84,85). A forma, tamanho e percentagem das partículas inorgânicas que fazem parte da microestrutura das resinas compostas, melhoraram as suas propriedades físico-mecânicas, tal como a micro-dureza, e também influenciam o GC. A MH não é, no entanto, uma propriedade física intrínseca ao material (39). As resinas compostas convencionais têm um conteúdo inorgânico entre 40-90 wt%, e combinam nano (40nm) e micro (1-10µm) partículas, tipicamente com uma forma irregular

ou esférica. (24) . A sílica é muito utilizada nas formulações de resinas compostas tanto no seu estado amorfo como cristalino. Para além da sílica também o fluoreto de itérbio, alumínio, boro e silicato de zircónia estão presentes na microestrutura das resinas compostas, tal como pode ser verificado na Tabela 6. Um elevado conteúdo de partículas inorgânicas resulta em ótimas características físicas e mecânicas, mas permite menor quantidade de monómeros e maior atenuação da luz, como consequência o GC será inferior. Para obter um adequado GC, que nas resinas compostas varia entre os 55-75% é necessário um equilíbrio dos índices de refração entre monómeros e partículas inorgânicas. Os índices de refração devem ser o mais aproximados possível, para que a luz seja transmitida através da resina composta sem que ocorram fenómenos, tais como a refração que interfiram no seu trajeto (16,69,74,76). Esta diminuição no GC e MH das resinas foi observada quando a distância entre a ponta da lâmpada e a superfície da resina composta foi alterada. Verificou-se uma proporcionalidade indireta entre esta distância e os valores de GC e MH. Aumentando a distância, diminui a irradiação que alcança a resina composta resultando numa menor quantidade de fotões que chega ao material (62,64,69,75,82,84).

Além da influência da composição das resinas compostas sobre forma como a luz se propaga no material, o modo com que se fotopolimerizam estes materiais influencia o GC e a MH. A introdução no mercado das resinas compostas bulk-fill demonstrou que aumentando a translucidez das resinas, aumenta a profundidade de polimerização promovendo uma melhor penetração da luz, permitindo assim a sua aplicação em incrementos de 4 mm, Figura 2. Para aumentar a translucidez destas resinas compostas é diminuída a quantidade de partículas inorgânicas, são utilizadas partículas de maior tamanho e são utilizados componentes com índices de refração próximos, quer na matriz orgânica quer as partículas inorgânicas. A transmissão da luz através do material é assim aumentada, diminui a atenuação dos fotões aumentando a profundidade de polimerização (34,77,84,85). As resinas compostas bulk-fill têm uma redução dos pigmentos e são utilizados sistemas de monómeros modificados para aumentar a sua translucidez (87), são frequentemente utilizados nas formulações de resinas compostas bulk-fill os seguintes monómeros: UDMA, TEGDMA, EBPDMA, TMPTMA, EBADMA, Bis-GMA, Bis-EMA. As gerações mais recentes de resinas compostas bulk-fill têm conteúdos inorgânicos que podem chegar aos 75 wt%, tendo como principais componentes inorgânicos o alumínio, sílica e bário com formas esféricas a irregulares e tamanhos de partículas que variam dos 0,4 aos 20 μm , tal como pode ser observado na Tabela 6. Além disso também é comum conterem na sua microestrutura fibras de vidro constituídas por alumínio, bário, sílica e

fluoretos, com tamanhos aproximados entre 1 e 15 μm , Figura 2 (88) .Relativamente ao sistema fotoiniciador é comum a mistura de CQ com outros sistemas como TPO ou Ivocerin para aumentar a polimerização das resinas em profundidade, Tabela 6 (89).

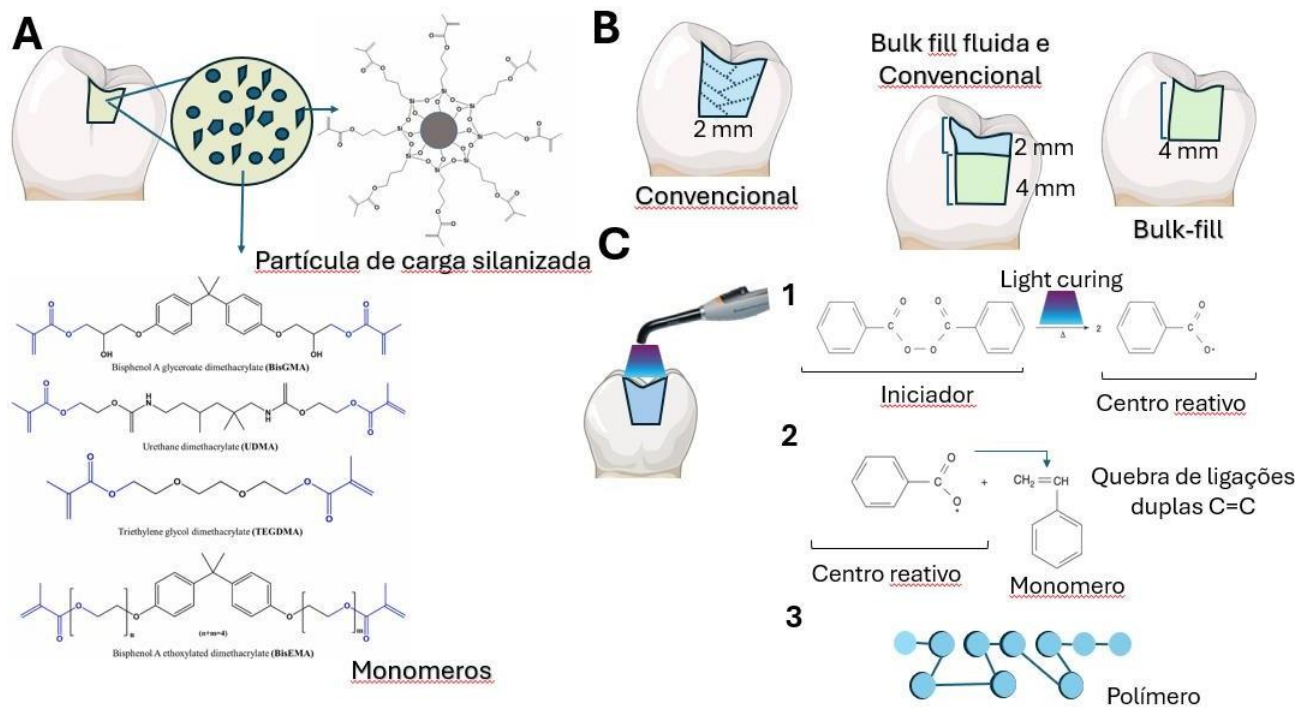


Figura 2. (A) composição da resina composta, adaptada de [90], (B) esquemas da resina composta convencional e bulk-fill, (C) processo de fotopolimerização adaptado de [91].

4.2 Influência do tempo de exposição, distância e fotoiniciadores na polimerização das resinas compostas convencionais e bulk-fill

As propriedades óticas das resinas compostas e as reações de fotopolimerização estão intimamente ligadas, uma elevada exposição radiante provoca um elevado GC, o que leva a melhores propriedades físicas dos materiais (88,90)

A fotoativação das resinas compostas, permite a emissão de luz e é expressa pela energia luminosa total (dada pela intensidade da luz multiplicada pelo tempo de exposição), e está diretamente relacionada com o GC e a MH (34,73,85). Verificou-se que utilizando lâmpadas com baixa intensidade de luz e elevado tempo de exposição (expresso em segundos) o GC aumenta. Um tempo aumentado de exposição e baixa intensidade da luz permite abrandar a fase pré gel da reação de polimerização o que permite, maior reatividade e menor quantidade de monómeros retidos e, por conseguinte, um GC mais elevado (62,63,68,69,73,79,85). Após a polimerização das resinas compostas, o processo de formação de polímeros não termina, em diferentes estudos foi confirmado que a polimerização continua nas primeiras 24 horas após a reação de polimerização inicial. Isto

ocorre porque após a fotoativação, alguns radicais livres gerados e que ficam retidos entre os monómeros polimerizados continuam a estabelecer ligações aumentando assim o GC final da resina composta (77–79,81). O tempo de fotoativação foi de determinante para elevados valores de DC de MH que aumentaram mesmo em profundidades elevadas, demonstrando-se diferenças significativas entre os 10 e os 40 s de fotoativação (60) .

Um dos fotoiniciadores mais utilizado nas resinas compostas é a camforoquinona (CQ) que tem o seu pico de absorção máximo nos 468 nm é, portanto, excitada no comprimento de onda entre os 460-470 nm. Vários estudos referem que a LCU, tal como um fotopolimerizador LED monowave e quartzo-tungstênio-halogénio (QTH) com pico máximo de comprimento de onda de 470 nm, excitam corretamente o fotoiniciador CQ o que resulta em valores mais elevados de GC e MH (63,64,67,68,75,79). A CQ tem como desvantagem a coloração amarelada após a fotoativação e é por esse motivo que os produtores tentaram substituir este fotoativador por outros diferentes, tais como, óxido de difenilfosfina trimetilbenzoílo (TPO). Foi demonstrado que a utilização de LED polywave em resinas que contem fotoiniciadores alternativos (como o TPO) aumenta a MH, o que é de extrema importância em maiores profundidades restauradoras, tais como aquelas que se verificam nos incrementos de 4mm nas resinas compostas bulk-fill (67,68,75,79). Comprovando-se desta forma que um comprimento de onda adequado influencia a ativação e eficiência dos fotoiniciadores presentes nas resinas compostas. A utilização de uma lâmpada LED de amplo espectro (polywave) é capaz de ativar e excitar os fotoiniciadores alternativos tais como TPO e Ivocerin que respondem a comprimentos de onda violeta, próximos aos 400nm (68,85) . Todavia, a expressão da utilização de fotoiniciadores alternativos e fotoativadores de largo espectro é maior à superfície do que em profundidade, onde a luz violeta não tem capacidade de chegar (68).

Na presente revisão sistemática, verificou-se que o GC e MH são inferiores no fundo da resina composta relativamente à superfície exposta a fotoativação, devido a uma diminuição progressiva da irradiação e intensidade dos fotões (61,69,71,74,77,79,80,84,85). Esta diminuição no GC e MH das resinas compostas foi observada quando a distância entre a ponta da lâmpada e a superfície da resina composta foi alterada. Quando a distância aumentou, o GC e MH diminuíram. Verificou-se uma proporcionalidade indireta entre esta distância e os valores de GC e MH. Aumentando a distância, diminui a irradiação que alcança a resina composta resultando numa menor quantidade de fotões que chega ao material (62,64,69,75,82,84).

4.3 Relação entre o grau de conversão e a micro-dureza em resinas convencionais e bulk-fill

O GC é frequentemente medido através de diferentes métodos de espectroscopia, tais como Raman Spectroscopy, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ou Attenuate Total Reflectance (ATR), Figura 3. Estes métodos permitem avaliar a eficiência da polimerização das resinas compostas, através da medição do GC. A MH é frequentemente medida através do método de Vicker Microhardness test (200-300g) ou Knoop Microhardness test. Estes testes são utilizados como métodos indiretos de avaliação da eficiência da polimerização das resinas compostas mas sendo o GC uma medida média de conversão, é importante medir também a densidade de reticulação, ou seja, uma cadeia polimérica mais linear terá uma menor MH, um polímero com cadeias bem reticuladas terá valores superiores de MH. Este parâmetro influencia maioritariamente a MH das resinas compostas (66,74,82).

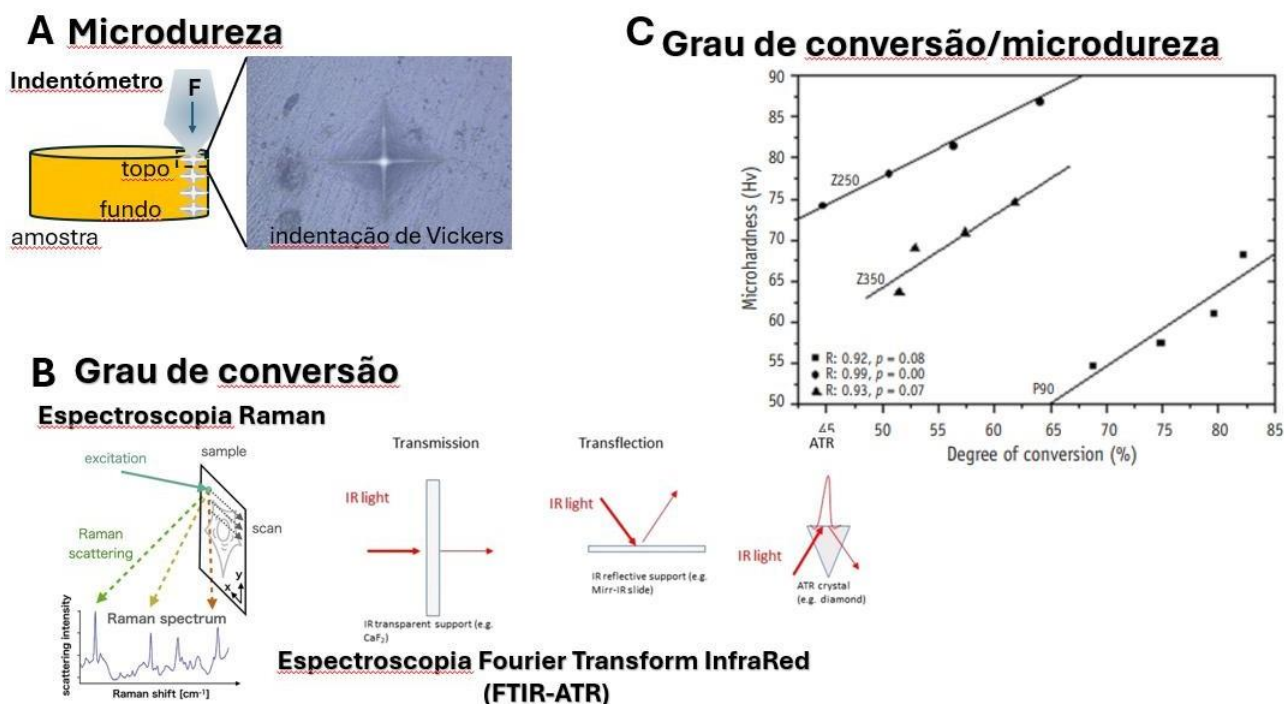


Figura 3. (A) Esquemas de microdureza de Vickers, adaptados de [93,94] (B) Métodos Raman e FTIR-ATR, (C) relação entre microdureza e grau de conversão, adaptado de [61].

Estas indentações devem ser realizadas em profundidade de forma a avaliar a eficiência da polimerização (63,64,66,75,77,80). Em vários estudos foi estabelecida uma correlação linear entre o GC e MH, o que significa um elevado valor GC permite ao material ótimas propriedades físico-mecânicas. Por essa razão a micro-dureza é muitas vezes

utilizada como medição indireta do grau de conversão de monómeros (63–67,69–71,75–77,79,81,82,85).GC e MH são influenciados por diferentes fatores, intrínsecos ao material como fotoiniciadores, partículas inorgânicas ou tipo de matriz orgânica e fatores extrínsecos como a fotoativação. As partículas inorgânicas influenciam diretamente os valores de MH (71,72,76), um elevado conteúdo em partículas inorgânicas e menor conteúdo de matriz orgânica pode apresentar comparativamente um GC menor, mas elevados valores de MH (64,69,72,76,81,83). Por esta razão, duas resinas compostas podem ter o mesmo valor de GC mas diferentes valores de MH (66,74,82).

As resinas compostas bulk-fill que apresentam alta viscosidade (alto conteúdo de partículas inorgânicas) demonstram ótimas características mecânicas tal como a MH e GC. Relativamente às resinas compostas fluídas bulk-fill, das quais é exemplo a resina composta SDR, Dentsply, são constituídas por um baixo conteúdo de partículas inorgânicas, pouca resistência ao desgaste, mas ótima translucidez, por essa razão aconselha-se o recobrimento destas resinas compostas com uma última camada de resina composta convencional, de forma a compensar a sua baixa MH superficial (69,81). A resina bulk-fill fluída (SDR) demonstrou ter baixa MH, mas ótimo GC. O que significa que um ótimo GC se pode não significar valores ótimas de MH, apesar de intimamente relacionados. A MH é influenciada não só pelo GC mas também pelo conteúdo de partículas inorgânicas. Esta propriedade mecânica é mais dependente da densidade de ligações cruzadas dos polímeros formadas que não sempre é linear com o GC. Resinas compostas com GC próximo, podem apresentar diferentes densidades de ligações cruzadas dos polímeros (61,63,74,81).

5. CONCLUSÃO

Dentro das limitações da presente revisão sistemática e dos estudos in-vitro selecionados, podem ser tiradas as seguintes conclusões:

- Os Médicos Dentistas devem conhecer a composição química das resinas compostas, uma vez que influencia o grau de conversão de monómeros e a microdureza, assim como à correspondência entre o fotoativador(fotopolimerizador) e a resina composta. A utilização de fotopolimerizadores de elevada irradiância/menor tempo de exposição não representa uma vantagem relativamente ao GC e propriedades físicas e mecânicas das resinas compostas. Uma baixa intensidade de luz e um longo tempo de exposição geram uma fase pré-gel mais lenta, maior reatividade e menos monómeros retidos, o que leva a um melhor grau de conversão e microdureza do material. O tempo de exposição e a distância de polimerização são parâmetros cruciais para proporcionar uma reação de polimerização adequada das resinas compostas. Maiores distâncias de polimerização prejudicam o grau de conversão e micro-dureza;
- A micro-dureza é uma propriedade mecânica das resinas compostas, e um bom indicador da eficiência da polimerização devido à sua estreita relação com o grau de conversão de monómeros;
- Apesar da semelhança microestrutural entre as resinas compostas convencionais e bulk-fill, verificaram-se algumas diferenças relativamente aos monómeros da matriz orgânica, translucidez das partículas inorgânicas, maior proximidade entre índices refrativos monómeros/partículas inorgânicas e combinação de vários sistemas fotoiniciadores. Este último parâmetro influencia a escolha do aparelho fotoativador de forma que excite no caso das resinas compostas bulk-fill uma ampla gama de fotoiniciadores.

Membros do Júri das Provas Públicas

Presidente: Professor Doutor Tiago Borges, Professor auxiliar da Faculdade de Medicina dentária da Universidade Católica Portuguesa.

Arguente: Professora Doutora Orlanda Torres, Professora auxiliar convidada do Instituto Superior de ciências da saúde, cooperativa de Ensino Superior Politécnico e Universitário-IUCS-CESPU.

Orientador: Professora Doutora Rita Fidalgo Pereira, Professora auxiliar convidada da Faculdade de Medicina dentária.

Data das provas públicas: 30/07/2024

Validação e confirmação pelos serviços escolares:

___ / ___ / ___

6. BIBLIOGRAFIA

1. Ferracane JL. Models of Caries Formation around Dental Composite Restorations. *J Dent Res* [Internet]. 2016 Dec 19;96(4):364–71. Available from: <https://doi.org/10.1177/0022034516683395>
2. Fidalgo-Pereira R, Carpio D, Torres O, Carvalho O, Silva F, Henriques B, et al. The influence of inorganic fillers on the light transmission through resin-matrix composites during the light-curing procedure: an integrative review. *Clin Oral Investig* [Internet]. 2022 Jun 29; Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35767045>
3. Al-Zain AO EGLHMSPJ. Polymerization pattern characterization within a resin-based composite cured using different curing units at two distances. *Clin Oral Investig* 2019 Nov;23(11).
4. Al-Zain AO, Eckert GJ, Lukic H, Megremis SJ, Platt JA. Degree of conversion and cross-link density within a resin-matrix composite. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2017/07/21. 2018;106(4):1496–504.
5. Balbinot E, Pereira M, Skupien JA, Balbinot CEA, da Rocha G, Vieira S. Analysis of transmittance and degree of conversion of composite resins. *Microsc Res Tech*. 2019/08/15. 2019;82(11):1953–61.
6. Demarco FF, Corrêa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJ. Longevity of posterior composite restorations: not only a matter of materials. *Dent Mater*. 2011/12/24. 2012;28(1):87–101.
7. Miletic V. *Dental composite Materials for Direct Restorations*. Springer Nature; 2018.
8. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater*. 2010/11/26. 2011;27(1):29–38.
9. Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. *Aust Dent J*. 2011/05/20. 2011;56 Suppl 1:59–66.
10. Kowalska A, Sokolowski J, Bociong K. The Photoinitiators Used in Resin Based Dental Composite--A Review and Future Perspectives. *Polymers (Basel)*. 2021/02/06. 2021;13(3).
11. Pratap B, Gupta RK, Bhardwaj B, Nag M. Resin based restorative dental materials: characteristics and future perspectives. *Jpn Dent Sci Rev*. 2019/11/07. 2019;55(1):126–38.
12. Ferracane JL. Resin-based composite performance: are there some things we can't predict? *Dent Mater*. 2012/07/20. 2013;29(1):51–8.
13. Habib E, Wang R, Wang Y, Zhu M, Zhu XX. Inorganic Fillers for Dental Resin Composites: Present and Future. Vol. 2, *ACS Biomaterials Science and Engineering*. American Chemical Society; 2016. p. 1–11.
14. *Dental Composite Materials for Direct Restorations*. Dental Composite Materials for Direct Restorations. Springer International Publishing; 2018.
15. Hervás García A, Angel M, Lozano M, Cabanes Vila J, Escribano AB, Galve PF, et al. E215 Composite resins. A review of the materials and clinical indications E216.
16. Fidalgo-Pereira R, Carpio D, Torres O, Carvalho O, Silva F, Henriques B, et al. The influence of inorganic fillers on the light transmission through resin-matrix composites during the light-curing procedure: an integrative review. Vol. 26, *Clinical Oral Investigations*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2022. p. 5575–94.
17. Liu X, Wang Z, Zhao C, Bu W, Na H. Preparation and characterization of silane-modified SiO₂ particles reinforced resin composites with fluorinated acrylate polymer. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018 Apr 1;80:11–9.
18. Lung CYK, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: An overview. Vol. 28, *Dental Materials*. 2012. p. 467–77.
19. Lima RBW, Melo AM dos S, Dias J da N, Barbosa LMM, Santos JV do N, Souza GM De, et al. Are polywave light-emitting diodes more effective than monowave ones in the

- photoactivation of resin-based materials containing alternative photoinitiators? A systematic review. *J Mech Behav Biomed Mater* [Internet]. 2023;143:105905. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616123002588>
20. Schneider LFJ, Cavalcante LM, Prah SA, Pfeifer CS, Ferracane JL. Curing efficiency of dental resin composites formulated with camphorquinone or trimethylbenzoyl-diphenyl-phosphine oxide. *Dental Materials* [Internet]. 2012;28(4):392–7. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564111009079>
 21. Santini A, Miletic V, Swift MD, Bradley M. Degree of conversion and microhardness of TPO-containing resin-based composites cured by polywave and monowave LED units. *J Dent*. 2012/04/03. 2012;40(7):577–84.
 22. Lucey SM, Santini A, Roebuck EM. Degree of conversion of resin-based materials cured with dual-peak or single-peak LED light-curing units. *Int J Paediatr Dent*. 2014/03/29. 2015;25(2):93–102.
 23. Favarão J, Oliveira D, Zanini MM, Rocha MG, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti M. Effect of curing-light attenuation on color stability and physical and chemical properties of resin cements containing different photoinitiators. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2020/10/09. 2021;113:104110.
 24. Fidalgo-Pereira R, Carvalho Ó, Catarino SO, Henriques B, Torres O, Braem A, et al. Effect of inorganic fillers on the light transmission through traditional or flowable resin-matrix composites for restorative dentistry. *Clin Oral Investig* [Internet]. 2023;27(9):5679–93. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05189-7>
 25. Rocha MG, Maucoski C, Roulet JF, Price RB. Depth of cure of 10 resin-based composites light-activated using a laser diode, multi-peak, and single-peak light-emitting diode curing lights. *J Dent* [Internet]. 2022;122:104141. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030057122200197X>
 26. Rocha Maia R, Oliveira D, D’Antonio T, Qian F, Skiff F. Comparison of light-transmittance in dental tissues and dental composite restorations using incremental layering build-up with varying enamel resin layer thickness. *Restor Dent Endod*. 2018/05/17. 2018;43(2):e22.
 27. Kowalska A, Sokolowski J, Bociong K. polymers The Photoinitiators Used in Resin Based Dental Composite-A Review and Future Perspectives. 2021; Available from: <https://doi.org/10.3390/polym130>
 28. Price RBT. Light Curing in Dentistry. *Dent Clin North Am*. 2017/09/10. 2017;61(4):751–78.
 29. de Oliveira D, Rocha MG, Correa IC, Correr AB, Ferracane JL, Sinhoreti MAC. The effect of combining photoinitiator systems on the color and curing profile of resin-based composites. *Dent Mater*. 2016/07/30. 2016;32(10):1209–17.
 30. Palin WM, Leprince JG, Hadis MA. Shining a light on high volume photocurable materials. *Dent Mater*. 2018/03/20. 2018;34(5):695–710.
 31. Stansbury JW. Dimethacrylate network formation and polymer property evolution as determined by the selection of monomers and curing conditions. *Dental Materials* [Internet]. 2012;28(1):13–22. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564111008335>
 32. Price RB, Ferracane JL, Hickel R, Sullivan B. The light-curing unit: An essential piece of dental equipment. *Int Dent J*. 2020 Dec 1;70(6):407–17.
 33. Rueggeberg FA, Giannini M, Arrais CAG, Price RBT. Light curing in dentistry and clinical implications: A literature review. Vol. 31, *Brazilian Oral Research*. Sociedade Brasileira de Hematologia e Hemoterapia; 2017. p. 64–91.
 34. Fidalgo-Pereira R, Evangelista Carpio DM, Carvalho Ó, Catarino S, Torres O, M. Souza JC. Relationship between the inorganic content and the polymerization of the organic matrix of

- resin composites for dentistry: a narrative review. *RevSALUS - Revista Científica da Rede Académica das Ciências da Saúde da Lusofonia*. 2022 Jan 28;4(1).
35. Kowalska A, Sokolowski J, Bociong K. polymers The Photoinitiators Used in Resin Based Dental Composite-A Review and Future Perspectives. 2021; Available from: <https://doi.org/10.3390/polym130>
 36. Yılmaz Atalı P, Doğu Kaya B, Manav Özen A, Tarçın B, Şenol AA, Tüter Bayraktar E, et al. Assessment of Micro-Hardness, Degree of Conversion, and Flexural Strength for Single-Shade Universal Resin Composites. *Polymers (Basel)*. 2022 Nov 1;14(22).
 37. Lempel E, Czibulya Z, Kovács B, Szalma J, Tóth Á, Kunsági-Máté S, et al. Degree of conversion and BisGMA, TEGDMA, UDMA Elution from flowable bulk fill composites. *Int J Mol Sci*. 2016 May 20;17(5).
 38. Xu T, Li X, Wang H, Zheng G, Yu G, Wang H, et al. Polymerization shrinkage kinetics and degree of conversion of resin composites. *J Oral Sci*. 2020 Jul 1;62(3):275–80.
 39. Ilie N, Hilton TJ, Heintze SD, Hickel R, Watts DC, Silikas N, et al. Academy of Dental Materials guidance-Resin composites: Part I-Mechanical properties. *Dent Mater*. 2017/06/05. 2017;33(8):880–94.
 40. Price RB, Shortall AC, Palin WM. Contemporary issues in light curing. Vol. 39, *Operative Dentistry*. Indiana University School of Dentistry; 2014. p. 4–14.
 41. Al-Harbi F, Kaisarly D, Bader D, El Gezawi M. Marginal integrity of bulk versus incremental fill class II composite restorations. *Oper Dent*. 2016 Mar 1;41(2):146–56.
 42. Abbasi M, Moradi Z, Mirzaei M, Kharazifard MJ, Rezaei S, Rezaei S. Polymerization Shrinkage of Five Bulk-Fill Composite Resins in Comparison with a Conventional Composite Resin [Internet]. Vol. 15, *Journal of Dentistry*. 2018. Available from: www.jdt.tums.ac.ir
 43. Osiewicz MA, Werner A, Roeters FJM, Kleverlaan CJ. Wear of bulk-fill resin composites. *Dental Materials*. 2022 Mar 1;38(3):549–53.
 44. Rocha MG, De Oliveira DCRS, Correa IC, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MAC, Ferracane JL, et al. Light-emitting diode beam profile and spectral output influence on the degree of conversion of bulk fill composites. *Oper Dent*. 2017 Jul 1;42(4):418–27.
 45. Rocha MG, De Oliveira DCRS, Sinhoreti MAC, Roulet JF, Correr AB. The combination of CQ-amine and TPO increases the polymerization shrinkage stress and does not improve the depth of cure of bulk-fill composites. *Oper Dent*. 2019;44(5):499–509.
 46. Gan JK, Yap AU, Cheong JW, Arista N, Tan CBK. Bulk-fill composites: Effectiveness of cure with poly-and monowave curing lights and modes. *Oper Dent*. 2018 Mar 1;43(2):136–43.
 47. Marovic D, Par M, Macan M, Klarić N, Plazonić I, Tarle Z. Aging-Dependent Changes in Mechanical Properties of the New Generation of Bulk-Fill Composites. *Materials*. 2022 Feb 1;15(3).
 48. Haugen HJ, Marovic D, Par M, Thieu MK Le, Reseland JE, Johnsen GF. Bulk fill composites have similar performance to conventional dental composites. *Int J Mol Sci*. 2020 Jul 2;21(14):1–20.
 49. download.
 50. Oltramare RS, Odermatt R, Burrer P, Attin T, Tauböck TT. Depth-related curing potential of ormocer-and dimethacrylate-based bulk-fill composites. *Materials*. 2021 Nov 1;14(22).
 51. Yu P, Xu YX, Liu YS. Polymerization shrinkage and shrinkage stress of bulk-fill and non-bulk-fill resin-based composites. *J Dent Sci*. 2022 Jul 1;17(3):1212–6.
 52. Gul P, Alp HH, Özcan M. Monomer release from bulk-fill composite resins in different curing protocol. *J Oral Sci*. 2020 Jul 1;62(3):288–92.
 53. Shadman N, Pezeshki B, Rostami S. Marginal sealing of bulk fill versus conventional composites in class ii composite restorations: An in vitro study. *Front Dent*. 2020;17.

54. Kim YS, Baek SH, Kim RJY. Effect of vibration during bulk and incremental filling on adaptation of a bulk-fill composite resin. *Sci Rep.* 2022 Dec 1;12(1).
55. Yap AU, Eweis AH, Yahya NA. Dynamic viscoelastic characterization of bulk-fill resin-based composites and their conventional counterparts. *Oper Dent.* 2020 Mar 1;45(2):173–82.
56. Lopes PC, Carvalho T, Gomes ATPC, Veiga N, Blanco L, Correia MJ, et al. White spot lesions: diagnosis and treatment – a systematic review. *BMC Oral Health.* 2024 Dec 1;24(1).
57. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Syst Rev.* 2021 Dec 1;10(1).
58. Blaizot A, Veettil SK, Saidoung P, Moreno-Garcia CF, Wiratunga N, Aceves-Martins M, et al. Using artificial intelligence methods for systematic review in health sciences: A systematic review. *Res Synth Methods [Internet].* 2022 May 1;13(3):353–62. Available from: <https://doi.org/10.1002/jrsm.1553>
59. Sheth VH, Shah NP, Jain R, Bhanushali N, Bhatnagar V. Development and validation of a risk-of-bias tool for assessing in vitro studies conducted in dentistry: The QUIN.
60. Leprince JG, Leveque P, Nysten B, Gallez B, Devaux J, Leloup G. New insight into the “depth of cure” of dimethacrylate-based dental composites. *Dental Materials.* 2012 May;28(5):512–20.
61. Son SA, Roh HM, Hur B, Kwon YH, Park JK. The effect of resin thickness on polymerization characteristics of silorane-based composite resin. *Restor Dent Endod.* 2014;39(4):310.
62. Giorgi MCC, Theobaldo J, Lima DANL, Marchi GM, Ambrosano GM, Aguiar FHB. Influence of successive light-activation on degree of conversion and knoop hardness of the first layered composite increment. *Acta Odontol Scand.* 2014 Apr 1;73(2):126–31.
63. Ferreira APB, Júnior PCS, Souza EM, Rached RN, Pezzin SH, Vieira S. Wavelength of experimental LEDs: Hardness, elastic modulus, degree of conversion and temperature rise of a microhybrid composite. *Materials Research.* 2015 Mar 1;18(2):240–4.
64. Catelan A, Kawano Y, Henrique dos Santos P, Maria Bovi Ambrosano G, Karina Bedran-Russo A, Henrique Baggio Aguiar F. Radiant exposure effects on physical properties of methacrylate-and silorane-composites. Vol. 13, Original Article *Braz J Oral Sci.*
65. Garoushi S, Vallittu P, Shinya A, Lassila L. Influence of increment thickness on light transmission, degree of conversion and micro hardness of bulk fill composites. *Odontology.* 2016 Sep 1;104(3):291–7.
66. Al-Zain AO, Eckert GJ, Lukic H, Megremis SJ, Platt JA. Degree of conversion and cross-link density within a resin-matrix composite. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2018 May 1;106(4):1496–504.
67. Santini A, Miletic V, Swift MD, Bradley M. Degree of conversion and microhardness of TPO-containing resin-based composites cured by polywave and monowave LED units. *J Dent.* 2012 Jul;40(7):577–84.
68. Shimokawa CAK, Sullivan B, Turbino ML, Soares CJ, Price RB. Influence of emission spectrum and irradiance on light curing of resin-based composites. *Oper Dent.* 2017 Sep 1;42(5):537–47.
69. Siagian JS, Dennis D, Ikhsan T, Abidin T. Effect of Different LED light-curing units on degree of conversion and microhardness of bulk-fill composite resin. *Journal of Contemporary Dental Practice.* 2020 Jun 1;21(6):615–20.
70. Furuse AY, Mondelli J, Watts DC. Network structures of Bis-GMA/TEGDMA resins differ in DC, shrinkage-strain, hardness and optical properties as a function of reducing agent. *Dental Materials.* 2011 May;27(5):497–506.

71. Torres SAS, Silva GC, Maria DA, Campos WRC, Magalhães CS, Moreira AN. Degree of conversion and hardness of a silorane-Based composite resin: Effect of light-Curing unit and depth. *Oper Dent*. 2014;39(3).
72. Lee DS, Jeong TS, Kim S, Kim H II, Kwon YH. Effect of dual-peak LED unit on the polymerization of coinitiator-containing composite resins. *Dent Mater J*. 2012;31(4):656–61.
73. Heo YJ, Lee GH, Park JK, Ro JH, García-Godoy F, Kim H II, et al. Effect of energy density on low-shrinkage composite resins: Diode-pumped solid state laser versus quartz-tungsten-halogen light-curing unit. *Photomed Laser Surg*. 2013 Jan 1;31(1):28–35.
74. Lee SK, Kim TW, Son SA, Park JK, Kim JH, Kim H II, et al. Influence of light-curing units on the polymerization of low-shrinkage composite resins. *Dent Mater J*. 2013;32(5):688–94.
75. Al-Zain AO, Eckert GJ, Lukic H, Megremis S, Platt JA. Polymerization pattern characterization within a resin-based composite cured using different curing units at two distances. *Clin Oral Investig*. 2019 Nov 1;23(11):3995–4010.
76. Yılmaz Atalı P, Doğu Kaya B, Manav Özen A, Tarçın B, Şenol AA, Tüter Bayraktar E, et al. Assessment of Micro-Hardness, Degree of Conversion, and Flexural Strength for Single-Shade Universal Resin Composites. *Polymers (Basel)*. 2022 Nov 1;14(22).
77. Tarle Z, Attin T, Marovic D, Andermatt L, Ristic M, Tauböck TT. Influence of irradiation time on subsurface degree of conversion and microhardness of high-viscosity bulk-fill resin composites. *Clin Oral Investig*. 2015 May 1;19(4):831–40.
78. Germscheid W, de Gorre LG, Sullivan B, O'Neill C, Price RB, Labrie D. Post-curing in dental resin-based composites. *Dental Materials*. 2018 Sep 1;34(9):1367–77.
79. AlShaafi MM. Effects of delivering the same radiant exposures at 730, 1450, and 2920 mW/cm² to two resin-based composites. *Eur J Dent*. 2017;11(1):22–8.
80. Fonseca Lima A, Menezes K, De Andrade G, Da LE, Alves C, Soares GP, et al. *European Journal of Dentistry*. Vol. 6. 2012.
81. Monterubbianesi R, Orsini G, Tosi G, Conti C, Librando V, Procaccini M, et al. Spectroscopic and mechanical properties of a new generation of bulk fill composites. *Front Physiol*. 2016;7(DEC).
82. Catelan A, De Araújo LSN, Da Silveira BCM, Kawano Y, Ambrosano GMB, Marchi GM, et al. Impact of the distance of light curing on the degree of conversion and microhardness of a composite resin. *Acta Odontol Scand*. 2015 May 1;73(4):298–301.
83. Miletic V, Pongprueksa P, De Munck J, Brooks NR, Van Meerbeek B. Curing characteristics of flowable and sculptable bulk-fill composites. *Clin Oral Investig*. 2017 May 1;21(4):1201–12.
84. Strini BS, Marques JF de L, Pereira R, Sobral-Souza DF, Pecorari VGA, Liporoni PCS, et al. Comparative Evaluation of Bulk-Fill Composite Resins: Knoop Microhardness, Diametral Tensile Strength and Degree of Conversion. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2022;14:225–33.
85. Barcelos LM, Braga S, Pereira R, Price RB, Soares CJ. Effect of Using Manufacturer-recommended Exposure Times to Photo-activate Bulk-fill and Conventional Resin-based Composites. *Oper Dent*. 2023 May 1;48(3):304–16.
86. Braga S, Schettini A, Carvalho E, Shimokawa C, Price RB, Soares CJ. Effect of the Sample Preparation and Light-curing Unit on the Microhardness and Degree of Conversion of Bulk-fill Resin-based Composite Restorations. *Oper Dent*. 2022 Mar 1;47(2):163–72.
87. Lima RBW, Troconis CCM, Moreno MBP, Murillo-Gómez F, De Goes MF. Depth of cure of bulk fill resin composites: A systematic review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry [Internet]*. 2018 Nov 1;30(6):492–501. Available from: <https://doi.org/10.1111/jerd.12394>
88. Fronza BM, Ayres A, Pacheco RR, Rüggeberg FA, Dias C, Giannini M. Characterization of Inorganic Filler Content, Mechanical Properties, and Light Transmission of Bulk-fill Resin Composites. *Oper Dent*. 2017;42(4):445–55.

89. Rocha MG, de Oliveira D, Sinhoreti MAC, Roulet JF, Correr AB. The Combination of CQ-amine and TPO Increases the Polymerization Shrinkage Stress and Does Not Improve the Depth of Cure of Bulk-fill Composites. *Oper Dent* [Internet]. 2019 Sep 1;44(5):499–509. Available from: <https://doi.org/10.2341/18-234-L>
90. Musanje L, Darvell BW. Polymerization of resin composite restorative materials: exposure reciprocity. *Dental Materials* [Internet]. 2003;19(6):531–41. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S010956410200101X>