



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA



VITOR RESENDE DE FREITAS DUTRA

**EFEITO DO DIÂMETRO DA PONTERIA DE APARELHOS
FOTOPOLIMERIZADORES NA TRANSMISSÃO DE LUZ ATRAVÉS
DE UMA RESINA BULK FILL**

Uberlândia

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA



**EFEITO DO DIÂMETRO DA PONTERIA DE APARELHOS
FOTOPOLIMERIZADORES NA TRANSMISSÃO DE LUZ ATRAVÉS
DE UMA RESINA BULK FILL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Odontologia da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Hugo Lemes Carlo

Uberlândia

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA



**EFEITO DO DIÂMETRO DA PONTERIA DE APARELHOS
FOTOPOLIMERIZADORES NA TRANSMISSÃO DE LUZ ATRAVÉS DE UMA
RESINA BULK FILL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Odontologia da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Odontologia

Cidade, data, ano.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Hugo Lemes Carlo
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dr. Murilo de Sousa Menezes
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dr. Paulo César de Freitas Santos Filho
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo estímulo, carinho e compreensão

Que meu agradecimento alcance todos os Budas e Bodhisattvas das dez direções e três tempos, cujas vidas são ventos sagrados a semearem amor, tecerem compaixão e iluminarem o mundo com sabedoria infinita.

À minha mãe, Fania Maria de Freitas, pelos raios de sol que foram meu incentivo, pela fortaleza que se fez abrigo, e pelo amor incondicional que sempre acreditou em mim.

À minha família, agradeço profundamente pelo apoio constante e pelo carinho que nutriram minha jornada acadêmica.

Ao Professor Hugo Lemes Carlo, meu sincero reconhecimento pela orientação sábia, pelo estímulo intelectual e pela motivação que foram fundamentais nesta caminhada.

Aos colegas Airin, Pietra, Eduardo, Guilherme e Isaac meu afetuoso

agradecimento pela colaboração acadêmica e pelo companheirismo nos momentos decisivos deste processo.

Aos meus amigos, expresso profunda gratidão pela alegria compartilhada, pelo apoio intelectual e pela inspiração que trouxeram a cada etapa desta jornada.

Aos professores, agradeço respeitosamente pelos exemplos inspiradores, pelas lições transformadoras e pela sabedoria que moldaram minha formação profissional.

À equipe técnica, secretarias, seguranças e limpeza, meu sincero apreço pela dedicação que garantiu o funcionamento impecável de nossa clínica, esterilização e pronto-socorro.

RESUMO

Este estudo avaliou o efeito de diferentes aparelhos fotopolimerizadores do tipo LED multiwave na transmissão da luz através de uma resina composta do tipo bulk-fill. Foram selecionados dois aparelhos (Bluephase PowerCure – Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein; VALO Grand – Ultradent, South Jordan, UT, EUA) operando em modo standard (20s). Estes foram caracterizados quanto a potência radiante (mW), diâmetro da ponteira (mm), irradiância (mW/cm^2), espectro de emissão ($\text{mW}/\text{cm}^2/\text{nm}$) e transmissão espectral (mW/cm^2). As medições da potência radiante total e da irradiância na ponteira foram realizadas com a utilização de uma esfera integradora de seis polegadas (Labsphere – North Sutton, NH, EUA) acoplada a um espectrômetro de fibra óptica (Flame-T – Ocean Insight, Orlando, FL, EUA). Os diâmetros interno e externo das ponteiras foram mensurados com paquímetro digital (Mitutoyo, Tóquio, Japão). A irradiância média na superfície da ponteira (mW/cm^2) foi calculada pela divisão da potência radiante (mW) pela área ótica da ponteira interna (mm^2). A exposição radiante (J/cm^2) foi obtida multiplicando-se a irradiância (mW/cm^2) pelo tempo de exposição (s). A transmissão espectral através da resina composta (Tetric N-Ceram Bulk Fill – Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) foi avaliada utilizando-se matrizes personalizadas, produzidas por meio de impressão 3D tipo modelagem por fusão e deposição (Bambu Lab X1 Carbon – Bambu Lab, Shenzhen, GD, China) com filamento de ácido polilático (Bambu Lab, Shenzhen, GD, China). Cada matriz possuía diâmetro total de 15 mm com abertura central simulando o desenho oclusal de uma cavidade do tipo classe II de Black (11x4 mm), com profundidades de 0,5 mm, 1,0 mm, 2,0 mm, 3,0 mm e 4,0 mm. A irradiância dos aparelhos fotopolimerizadores apresentou picos concentrados entre 350 e 550 nm. O aumento da espessura das matrizes reduziu progressivamente a irradiância, evidenciando absorção e dispersão da luz pelo material. O diâmetro da ponteira apresentou influência na dispersão da luz através da cavidade analisada. Verificou-se que a eficácia dos aparelhos fotopolimerizadores pode ser influenciada por diferentes cenários de largura e profundidade das cavidades a serem restauradas.

Palavras-chave: Resinas Compostas; Restauração Dentária Permanente; Luzes de Cura Dental.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of different multiwave LED light-curing devices on light transmission through a bulk-fill composite resin. Two devices (Bluephase PowerCure – Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein; VALO Grand – Ultradent, South Jordan, UT, USA) operating in standard mode (20 s) were selected. These devices were characterized by radiant power (mW), tip diameter (mm), irradiance (mW/cm^2), emission spectrum ($\text{mW}/\text{cm}^2/\text{nm}$), and irradiance profile (mW/cm^2). Measurements of total radiant power and tip irradiance were performed using a six-inch integrating sphere (Labsphere – North Sutton, NH, USA) coupled to a fiber optic spectrometer (Flame-T – Ocean Insight, Orlando, FL, USA). The inner and outer diameters of the tips were measured with a digital caliper (Mitutoyo, Tokyo, Japan). The average irradiance at the tip surface (mW/cm^2) was calculated by dividing the radiant power (mW) by the optical area of the internal tip (mm^2). Radiant exposure (J/cm^2) was obtained by multiplying the irradiance (mW/cm^2) by the exposure time (s). Spectral transmission through the composite resin (Tetric N-Ceram Bulk Fill – Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) was evaluated using custom matrices produced by FDM 3D printing (Bambu Lab X1 Carbon – Bambu Lab, Shenzhen, GD, China) with PLA filament (Bambu Lab, Shenzhen, GD, China). Each matrix had a total diameter of 15 mm with a central opening simulating the occlusal design of a Black Class II cavity (11×4 mm), with depths of 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm, 3.0 mm, and 4.0 mm. The irradiance of the light-curing devices showed concentrated peaks between 350 and 550 nm. Increasing matrix thickness progressively reduced irradiance, demonstrating absorption and scattering of light by the material. The tip diameter influenced light scattering through the analyzed cavity. It was found that the effectiveness of light-curing devices can be influenced by different width and depth scenarios of the cavities to be restored.

KEYWORDS: Composite Resins; Dental Restoration, Permanent; Dental Curing Lights;

SUMÁRIO

<i>Introdução</i>	.....	07
<i>Materiais e Métodos</i>	.....	08
<i>Resultados</i>	.....	10
<i>Discussão</i>	.....	15
<i>Conclusão</i>	.....	17

INTRODUÇÃO

Os compósitos de resina são amplamente empregados na odontologia restauradora há várias décadas (1). A técnica de preenchimento incremental é comumente utilizada na execução de restaurações com esses materiais (2). Entretanto, a sensibilidade pós-operatória é frequentemente observada, sendo associada às tensões de contração geradas durante a polimerização (3).

As resinas compostas do tipo bulk-fill tornaram-se uma opção popular para a restauração de dentes posteriores após sua introdução no mercado (4). Estes compósitos permitem o preenchimento cavitário em camada única, possibilitando incrementos de 4 a 5 mm, o que otimiza a técnica operatória e reduz limitações relacionadas à aplicação incremental. Evidências indicam que os compósitos bulk-fill apresentam vantagens em relação aos convencionais como menor contração de polimerização, melhor integridade marginal e profundidade de polimerização ampliada (5,6). Entretanto, o uso de um aparelho fotopolimerizador adequado e a execução correta da técnica são essenciais para fornecer energia suficiente e atingir a base da restauração (7).

O fotoiniciador mais utilizado nesses materiais é a canforquinona, com absorção máxima em 470 nm. Uma alternativa recente é o Ivocerin® (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), que apresenta espectro de absorção mais amplo em baixos comprimentos de onda (390–445 nm, com pico a 408 nm). De acordo com o fabricante, a combinação de Ivocerin® e canforquinona em compósitos bulk-fill favorece a polimerização completa de incrementos de 4 mm (10).

Os aparelhos fotopolimerizadores disponíveis comercialmente podem ser muito diferentes uns dos outros. Estes podem apresentar diferenças na potência espectral, no diâmetro da ponteira e na intensidade luminosa (irradiância) e podem comprometer a qualidade da polimerização das resinas compostas (8,9). Unidades LED do tipo multiwave emitem luz violeta, além da luz azul. A adição da luz violeta confere a essas unidades a capacidade de ativar diferentes fotoiniciadores (11). Contudo, estes comprimentos de onda menores apresentam menor penetração na massa de material, o que pode resultar em subpolimerização de fotoiniciadores alternativos em regiões profundas da restauração (12,13).

A homogeneidade do feixe luminoso, tanto em intensidade quanto em espectro, influencia diretamente a polimerização da resina composta. Além disso, alguns aparelhos possuem ponteiras com diâmetro efetivo ≤ 7 mm, não cobrindo totalmente a superfície da restauração (14). Este fator é menos relevante na técnica incremental, pois incrementos

menores são completamente irradiados mesmo por ponteiras pequenas. No entanto, com os compósitos bulk-fill, em que se realiza o preenchimento integral da cavidade, em uma única porção, isto pode ser bastante relevante. Em cavidades com grandes dimensões, unidades com ponteiras de menor diâmetro podem deixar áreas do compósito sem cobertura luminosa adequada, resultando em polimerização insuficiente (15,16).

O presente estudo avaliou o diâmetro de duas diferentes unidades fotopolimerizadoras do tipo LED e a sua influência na emissão e na transmissão da luz através de uma resina composta do tipo bulk fill.

MATERIAIS E MÉTODOS:

Dois aparelhos fotopolimerizadores do tipo LED foram utilizadas (Bluephase Powercure – Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein e VALO Grand – Ultradent, South Jordan, UT, EUA). Também foi utilizada uma resina composta do tipo bulk-fill de alta viscosidade (Tetric N-Ceram Bulk Fill – Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).

Caracterização dos Aparelhos de Fotopolimerizadores

Os aparelhos fotopolimerizadores foram caracterizados quanto a potência radiante (mW), diâmetro externo e interno da ponteira (mm), irradiância (mW/cm^2), exposição radiante (J/cm^2) e espectros de emissão ($\text{mW}/\text{cm}^2/\text{nm}$). As medições de potência radiante total e de irradiância na ponteira, em modo standard (20s), foram realizadas com a utilização de uma esfera integradora de seis polegadas (Labsphere – North Sutton, NH, EUA) acoplada a um espectrômetro de fibra óptica (Flame-T – Ocean Insight, Orlando, FL, EUA). O sistema foi calibrado previamente com lâmpada interna de calibração (SCL-600 – Labsphere – North Sutton, NH, EUA). Os diâmetros interno e externo das ponteiras foram mensurados com paquímetro digital (Mitutoyo, Tóquio, Japão). A irradiância média na superfície da ponteira (mW/cm^2) foi calculada pela divisão da potência radiante (mW) pela área óptica da ponteira interna (mm^2). Todos os dados espectrais (mW/nm) foram processados pelo software OceanView (Ocean Insight – Orlando, FL, EUA). A exposição radiante (J/cm^2) foi obtida multiplicando-se a irradiância (mW/cm^2) pelo tempo de exposição (s).

Avaliação da Transmissão Espectral

A transmissão espectral através das resinas compostas foi avaliada para ambos os aparelhos fotopolimerizadores. Foram utilizadas matrizes personalizadas produzidas por meio de impressão 3D tipo modelagem por fusão e deposição (Bambu Lab X1 Carbon –

Bambu Lab, Shenzhen, GD, China) com filamento de ácido polilático (Bambu Lab, Shenzhen, GD, China). Cada matriz possuía diâmetro total de 15 mm com abertura central simulando o desenho oclusal de uma cavidade do tipo classe II de Black (11x4 mm), com profundidades de 0,5 mm, 1,0 mm, 2,0 mm, 3,0 mm e 4,0 mm. As análises foram realizadas em triplicata ($n=3$). Foram realizadas medições de referência (baseline) com as matrizes posicionadas na entrada da esfera integradora. Em seguida as mesmas foram preenchidas com a resina composta bulk-fill e novamente posicionadas na entrada da esfera integradora. Todas as amostras receberam contato direto da ponteira do aparelho fotopolimerizador, com polimerização por 20 s em modo standard para ambos os aparelhos.

Análise dos Perfis de Feixe de Luz

Os perfis de feixe de luz transmitidos pelas diferentes espessuras de resina foram mensurados com câmera digital CCD (charge-coupled device) para análise do feixe de luz (Ophir-Spiricon, Logan, UT, EUA), equipada com lente de 50 mm de distância focal (SP620U; Ophir-Spiricon). As unidades fotopolimerizadoras foram posicionadas em contato com a tela de imagem ou das matrizes, direcionadas à câmera. Para o grupo controle, foi utilizado o difusor holográfico de 40° (Edmund Optics, Barrington, NJ, EUA) à mesma distância focal. As amostras de resina atuaram como meio difusor durante a transmissão luminosa, dispensando difusores adicionais. Para correção da intensidade luminosa e resposta espectral do sensor CCD, empregaram-se dois filtros passa-faixa azuis (HOYA UV-VIS – Edmund Optics) e dois filtros refletores de densidade neutra (OD 2.0 e 3.0 – Edmund Optics).

As imagens dos perfis de irradiância foram capturadas e analisadas com o software BeamGage Professional, versão 6.14 (Ophir-Spiricon, Logan, UT, EUA). Para o perfil de feixe transmitido pela matriz vazia aplicou-se o diâmetro interno da ponteira de cada aparelho com a ferramenta "Optical Scaling" do software, calibrando os dados do feixe em mm. Os valores médios de potência radiante pré-medidos foram inseridos no software, gerando mapas de irradiância com escala de cor (mW/cm^2), em que áreas vermelhas indicaram alta irradiância e áreas roxas indicaram baixa irradiância. Os resultados obtidos foram analisados de forma descritiva.

Composição/informações sobre os ingredientes

Caracterização química: Misturas			
Descrição: Mistura de substâncias listadas abaixo com aditivos não perigosos.			
CAS: 72869-86-4	<i>urethane dimethacrylate</i> Irritação ocular 2, H319; Sensibilização cutânea 1, H317; Aquático crônico 3, H412	10- <25%	
CAS: 13760-80-0	<i>ytterbium trifluoride</i> Irritação cutânea 2, H315; Irritação ocular 2, H319; Toxicidade específica em órgãos-alvo (exposição única) 3, H335	10- <25%	
CAS: 41637-38-1	<i>ethoxylated bisphenol A dimethacrylate</i> Aquático crônico 4, H413	3-<10%	
CAS: 1565-94-2	<i>Bis-GMA</i> Irritação cutânea 2, H315; Irritação ocular 2, H319; Sensibilização cutânea 1, H317	3-<10%	

Tabela 1: Composição química das misturas, concentrações e perigos associados.

RESULTADOS

O diâmetro da ponta ativa do aparelho Valo Grand foi obtido, sendo o seu resultado igual a 11,8 mm. O aparelho Bluphase Powercure apresentou ponta ativa com 8,2mm. Os resultados da potência radiante dos aparelhos, avaliadas nas diferentes espessuras da matriz são apresentados na figura 1. O aparelho Valo Grand apresentou potência radiante de 450mW para 0,5mm, 400mW para 1,0mm, 375mW para 2,0mm, 340mW para 3,0mm e 320mW para 4,0mm. Por sua vez, o aparelho Bluephase Powercure registrou potência radiante de aproximadamente 370mW para 0,5mm, 350mW para 1,0mm, 320mW para 2,0mm, 280mW para 3,0mm e 250mW para 4,0mm. Observou-se uma diminuição da potência radiante para ambos os aparelhos com o aumento da espessura da matriz. Ambos os aparelhos apresentaram potência radiante estável durante o tempo de exposição de 20 s.

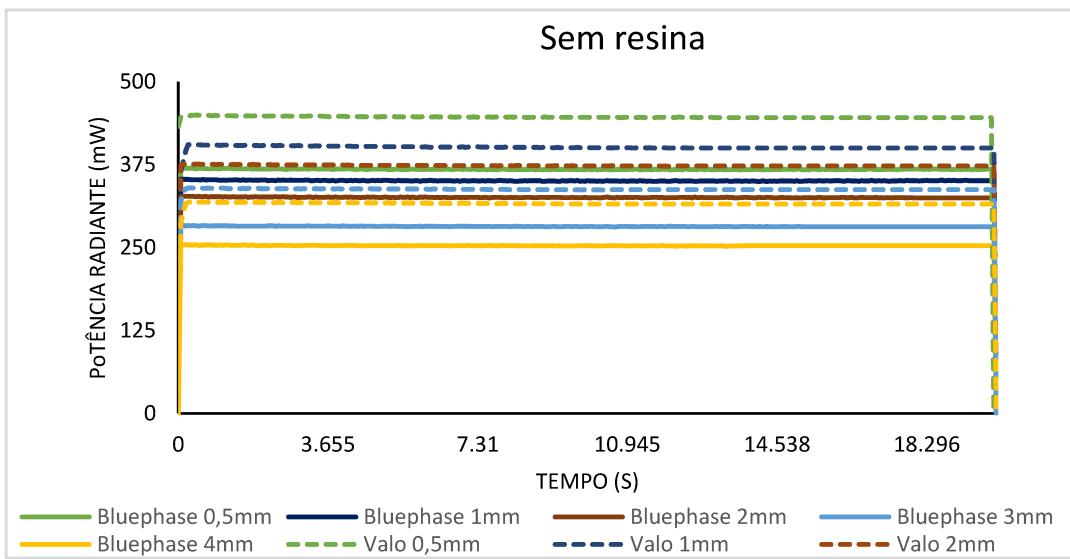


Figura 1: Valores médios de potência radiante (mW) pelo tempo (s) das duas fontes fotopolimerizadoras através das diferentes espessuras da matriz utilizada sem inserção da resina composta.

A análise da perda percentual de potência para o aparelho Valo Grand revelou quedas de 11.11% de 0.5mm para 1.0mm, 6.25% de 1.0mm para 2.0mm, 9.33% de 2.0mm para 3.0mm e 5.88% de 3.0mm para 4.0mm. Para o aparelho Bluephase, as perdas percentuais foram de 5.41% de 0.5mm para 1.0mm, 8.57% de 1.0mm para 2.0mm, 12.50% de 2.0mm para 3.0mm e 10.71% de 3.0mm para 4.0mm. A queda total de potência do aparelho Valo Grand, de 0.5mm para 4.0mm, foi de 130mW, enquanto para o Bluephase foi de 120mW, indicando que o aparelho Valo apresentou a maior queda de potência geral no intervalo de espessura avaliado.

Os resultados da potência radiante dos aparelhos fotopolimerizadores testados, avaliados nas diferentes espessuras da matriz com inserção da resina da resina composta em seu interior são apresentados na figura 2. O aparelho Valo Grand apresentou potências de 230mW para 0,5mm, 125mW para 1,0mm, 60mW para 2,0mm, 25mW para 3,0mm e 15mW para 4,0mm. Por sua vez, a unidade Bluephase Powercure registrou potências de 165mW para 0,5mm, 115mW para 1,0mm, 50mW para 2,0mm, 20mW para 3,0mm e 10mW para 4,0mm. Observou-se uma diminuição acentuada da potência radiante em ambos os aparelhos com o aumento da espessura da matriz. Ambos os aparelhos apresentaram potência radiante estável durante o tempo de exposição de 20 s.

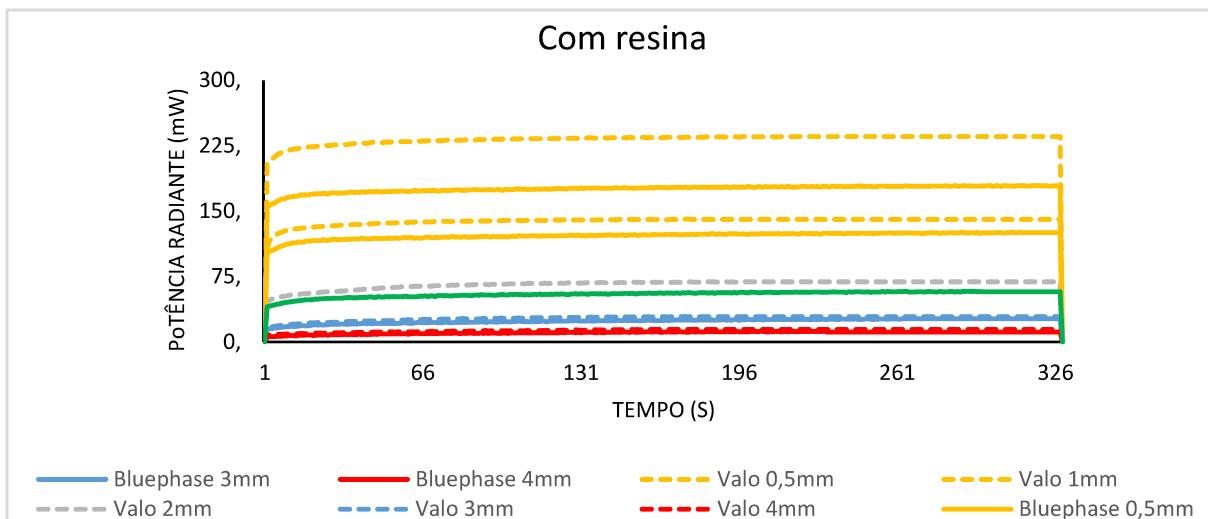


Figura 2: Valores médios de potência radiante (mW) pelo tempo (s) das duas fontes fotopolimerizadoras através das diferentes espessuras da matriz utilizada com inserção da resina composta.

A análise da perda percentual de potência para o aparelho Valo Grand revelou quedas de 45.65% de 0.5mm para 1.0mm, 52.00% de 1.0mm para 2.0mm, 58.33% de 2.0mm para 3.0mm e 40.00% de 3.0mm para 4.0mm. Para o aparelho Bluephase Powercure, as perdas percentuais foram de 30.30% de 0.5mm para 1.0mm, 56.52% de 1.0mm para 2.0mm, 60.00% de 2.0mm para 3.0mm e 50.00% de 3.0mm para 4.0mm. A queda total de potência do aparelho Valo, de 0.5mm para 4.0mm, foi de 215mW, enquanto para o Bluephase foi de 155mW, indicando que o aparelho Valo apresentou a maior queda de potência geral no intervalo de espessura avaliado.

Os resultados de irradiância absoluta e os picos de emissão dos aparelhos, através das diferentes espessuras da matriz, sem inserção da resina composta em seu interior, estão apresentados na figura 3. Os resultados com a inserção da resina composta estão apresentados na figura 4. O aparelho Bluephase Powercure emitiu picos de luz em 400 nm e 452 nm e VALO Grand em 395 nm, 444 nm e 464. Ambos os aparelhos apresentaram fluxo radiante estável durante o tempo de exposição de 20 s. Observou-se uma diminuição nos resultados de irradiância absoluta para ambos os aparelhos com o aumento da espessura da matriz e com a inserção da resina composta.

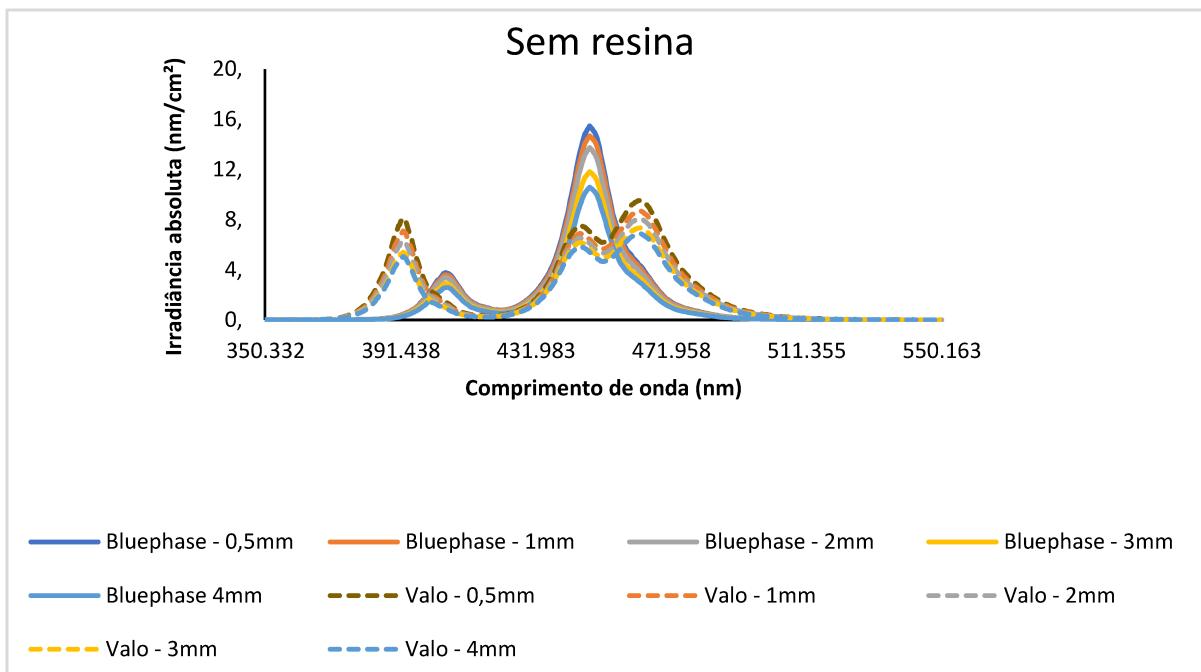


Figura 3: Resultados de Irradiância Absoluta através das diferentes espessuras da matriz sem inserção da resina composta para os diferentes aparelhos fotopolimerizadores.

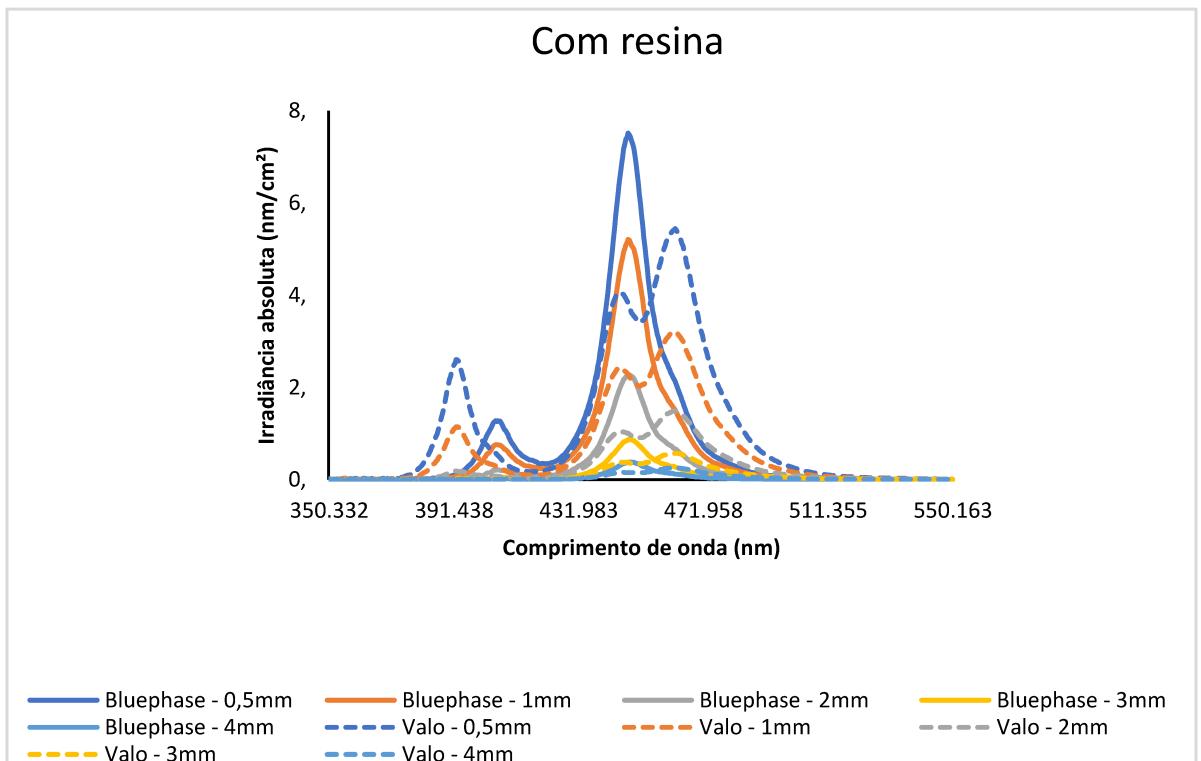


Figura 4: Irradiância com resina para Bluephase e Valo.

A transmissão espectral através da resina composta nas diferentes espessuras de matrizes é apresentada nas Figuras 5 e 6. Os perfis de irradiância indicaram que a transmissão espectral foi afetada pela espessura da amostra, diminuindo para ambos os aparelhos à medida que a espessura da matriz aumentava. Verifica-se, também, que o diâmetro da ponta do aparelho Valo Grand foi suficiente para preencher as dimensões da cavidade classe II simulada, de modo que todas as suas regiões receberam emissões de energia com apenas uma única exposição à luz no centro da amostra. No entanto, o mesmo não foi verificado para o aparelho Bluephase Powercure, onde as extremidades da cavidade não receberam emissões de energia com apenas uma única exposição à luz no centro da amostra.

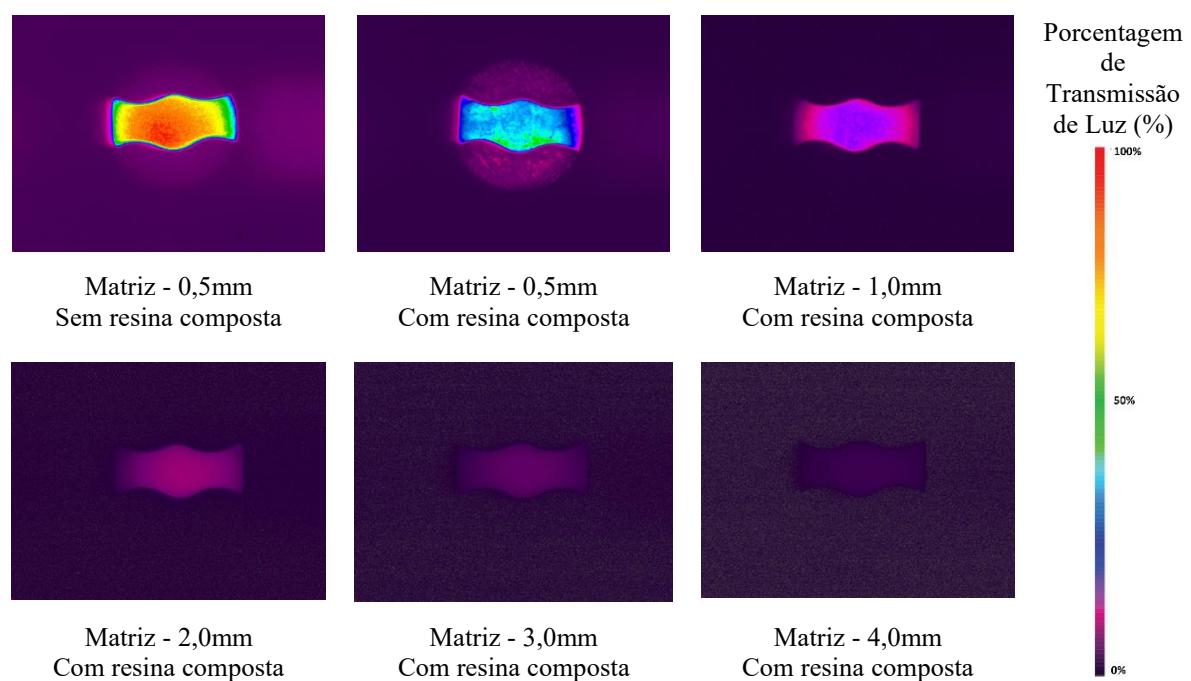


Figura 5: Representações bidimensionais do perfil do feixe de luz do aparelho fotopolimerizador Valo Grand registradas através de dois filtros passa-faixa azuis (HOYA UV-VIS – Edmund Optics) e dois filtros refletores de densidade neutra (OD 2.0 e 3.0 – Edmund Optics) no modo standard (20s) com emissão de luz azul e violeta simultaneamente. Observa-se decréscimo da irradiância absoluta $\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$ que as imagens obtidas através dos filtros estão em suas escalas decréscimo

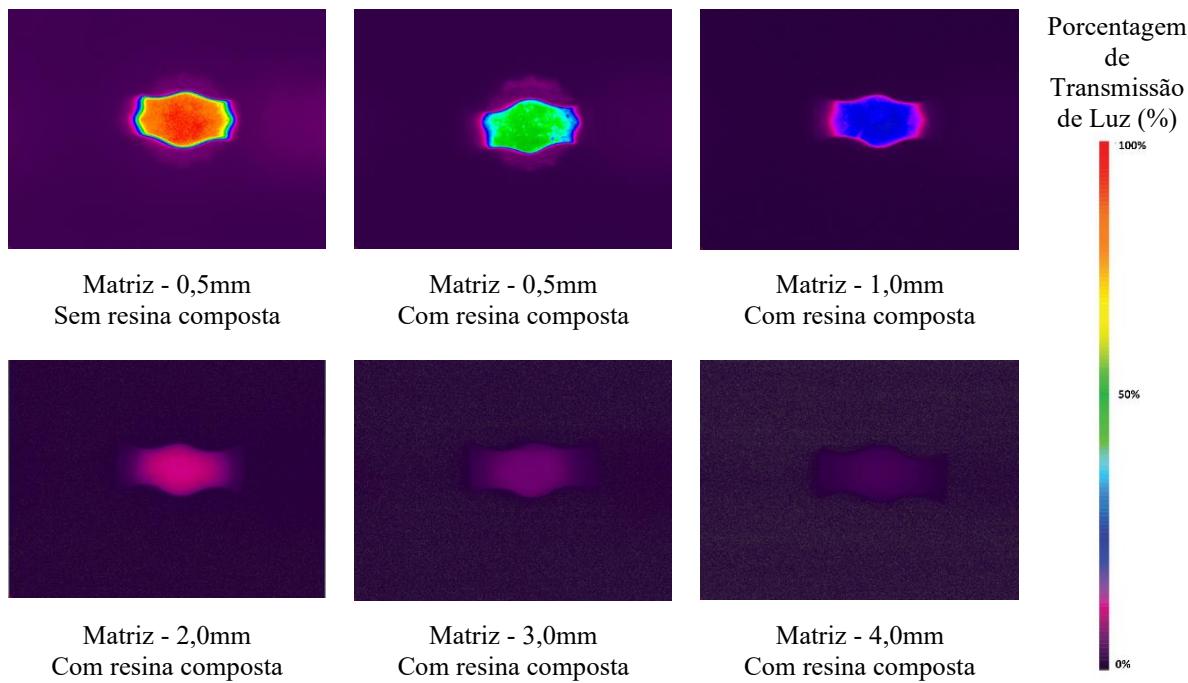


Figura 6: Representações bidimensionais do perfil do feixe de luz do aparelho fotopolimerizador Bluephase registradas através de dois filtros passa-faixa azuis (HOYA UV-VIS – Edmund Optics) e dois filtros refletores de densidade neutra (OD 2.0 e 3.0 – Edmund Optics) no modo standard(20s) com emissão de de luz azul e violeta simultaneamente. Observa-se que as imagens obtidas através dos filtros estão em suas escalas bem como o decréscimo da irradiância absoluta W/(cm²·nm)

DISCUSSÃO

O presente estudo avaliou o efeito do diâmetro da ponteira de dois aparelhos fotopolimerizadores do tipo LED multiwave na transmissão da luz através de uma resina composta do tipo bulk-fill. Os resultados demonstram que o diâmetro da ponteira foi um fator determinante na irradiância entregue ao compósito e na eficiência da transmissão luminosa através de diferentes espessuras do material (17).

Em relação à potência radiante sem resina (Figura 1), o aparelho Valo Grand apresentou valores de 450mW para 0,5mm, 400mW para 1,0mm, 375mW para 2,0mm, 340mW para 3,0mm e 320mW para 4,0mm. A unidade Bluephase registrou potências de aproximadamente 370mW para 0,5mm, 350mW para 1,0mm, 320mW para 2,0mm, 280mW para 3,0mm e 250mW para 4,0mm. Observou-se uma diminuição da potência radiante em ambos os aparelhos à medida que a espessura da matriz aumentou. A queda total de potência do aparelho Valo Grand, de 0.5mm para 4.0mm, foi de 130mW, enquanto para o Bluephase foi de 120mW, indicando que o aparelho Valo apresentou a maior queda de potência geral no intervalo de espessura avaliado.

Com a presença da resina (Figura 2), a potência radiante para o Valo Grand foi de 230mW para 0,5mm, 125mW para 1,0mm, 60mW para 2,0mm, 25mW para 3,0mm e

15mW para 4,0mm. Para o Bluephase, os valores foram de 165mW para 0,5mm, 115mW para 1,0mm, 50mW para 2,0mm, 20mW para 3,0mm e 10mW para 4,0mm. A queda total de potência do aparelho Valo Grand, de 0.5mm para 4.0mm, foi de 215mW, enquanto para o Bluephase foi de 155mW, mantendo o aparelho fotooplimerizador Valo Grand com a maior queda de potência geral. A irradiância média na superfície da ponteira, calculada pela divisão da potência radiante pela área ótica da ponteira interna mostrou que o aparelho Bluephase PowerCure, com seu diâmetro de ponteira de 8,2 mm, concentrou seu feixe luminoso em uma área reduzida, resultando em uma irradiância superior à do aparelho Valo Grand, que possui uma ponteira de 11,8 mm de diâmetro e, portanto, maior área de emissão. Este princípio físico fundamental é bem estabelecido na literatura (18). As representações bidimensionais do perfil do feixe (Figuras 5 e 6) dos aparelhos fotopolimerizadores Bluephase PowerCure e Valo Grand demonstraram que o Bluephase PowerCure, com seu diâmetro de ponteira de 8,2 mm, apresentou uma distribuição de irradiância com características de concentração, não atingindo completamente todas as paredes circundantes da cavidade. Em contraste, o Valo Grand, com seu diâmetro de ponteira de 11,8 mm, exibiu uma distribuição de irradiância mais difusa e homogênea, o que sugere uma cobertura mais completa da cavidade, favorecendo a polimerização em cavidades classe II MOD de Black com maior comprimento.

A transmissão da luz através da resina composta do tipo bulk fill testada foi severamente atenuada com o aumento da espessura do material. Os fôtons emitidos pelos aparelhos são absorvidos pelos fotoiniciadores presentes na resina composta e espalhados pelas partículas de carga (19). A passagem de luz por espessuras maiores resultou em uma maior atenuação da mesma, resultando em uma diminuição exponencial da irradiância que alcança as camadas mais profundas. A irradiância transmitida através de uma espessura de 4mm de material foi reduzida a aproximadamente 7,6% para o aparelho Bluephase Poercure e aproximadamente 9,0% para o aparelho Valo Grand, em relação à irradiância inicial. A atenuação da luz em meios ópticos é descrita pela Lei de Beer-Lambert, expressa pela equação $I = I_0 \cdot e^{(-\alpha x)}$, em que I_0 é a irradiância inicial incidente, x é a espessura atravessada no material e α é o coeficiente de absorção do meio. Essa relação implica que, a cada incremento unitário de espessura, uma fração constante da luz é absorvida ou dispersa, resultando em uma diminuição exponencial da irradiância remanescente à medida que aumenta a profundidade na resina. Observa-se nos dados deste estudo que a irradiância transmitida decresce conforme previsto por essa lei. Quando a espessura da resina atinge 4 mm, apenas cerca de 7,6–9,0% da irradiância

inicial foi detectada nos aparelhos fotopolimerizadores avaliados, evidenciando a forte atenuação prevista pela Lei de Beer–Lambert. Esse comportamento explica a acentuada redução de potência radiante e irradiância observada experimentalmente com o aumento da espessura da resina, conforme descrito nas medições realizadas. Destaca-se o desafio crítico de se garantir uma polimerização adequada em incrementos únicos de 4mm, mesmo com resinas do tipo bulk-fill, as quais foram desenvolvidas para este fim (20).

Para além da intensidade, a eficácia da polimerização está intrinsecamente ligada à compatibilidade entre o espectro de emissão do equipamento e o espectro de absorção dos fotoiniciadores presentes no compósito (21). A resina composta utilizada possui um sistema iniciador que inclui a Canforquinona (CQ), com pico de absorção em aproximadamente 470 nm, e o Ivocerin®, que apresenta um espectro de absorção mais amplo em baixos comprimentos de onda (390–445 nm, com pico a 408 nm) (22). Ambas as unidades fotopolimerizadoras avaliadas são do tipo multiwave, emitindo luz em múltiplos comprimentos de onda que abrangem tanto a faixa violeta quanto a azul. Essa característica multiwave é benéfica, pois permite a ativação simultânea de ambos os sistemas iniciadores (CQ e Ivocerin®), otimizando a polimerização.

As condições controladas de laboratório, embora essenciais para o isolamento das variáveis de interesse, apresentam limitações para a generalização no ambiente clínico, como o acesso restrito às cavidades a serem restauradas, dificultando a penetração da luz, principalmente nas regiões mais profundas da restauração, reduzindo显著mente a irradiância entregue. Além disso, este estudo não verificou o efeito das condições experimentais na polimerização da resina, o que restringe a generalização dos resultados. Futuros estudos devem buscar validar esses achados verificando o efeito direto das condições analisadas nas propriedades mecânicas da resina composta.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o diâmetro da ponteira dos aparelhos fotopolimerizadores e a espessura da resina composta são fatores determinantes na transmissão da luz e, consequentemente, na irradiância que alcança as camadas mais profundas do material. Ambos os aparelhos testados apresentaram uma redução significativa da potência radiante e da irradiância com o aumento da espessura da resina. Embora o aparelho Bluephase PowerCure tenha apresentado maior irradiância na superfície devido à sua ponteira de menor diâmetro, o aparelho VALO Grand, com sua ponteira de maior diâmetro, demonstrou uma distribuição de luz mais homogênea, o que

pode ser clinicamente mais vantajoso para a fotopolimerização de cavidades de grandes dimensões. A atenuação da luz pela resina composta é um fenômeno crítico que exige atenção à técnica de fotopolimerização executada para se garantir a eficácia da restauração em profundidade.

REFERÊNCIAS

1. Petrovic LM, Zorica DM, Stojanac ILj, Krstonosic VS, Hadnadjev MS, Atanackovic TM. A model of the viscoelastic behavior of flowable resin composites prior to setting. *Dent Mater.* 2013 Sep;29(9):929-34. doi: 10.1016/j.dental.2013.06.005. Epub 2013 Jul 27. PMID: 23899386.
2. Soares CJ, Bicalho AA, Tantbirojn D, Versluis A. Polymerization shrinkage stresses in a premolar restored with different composite resins and different incremental techniques. *J Adhes Dent.* 2013 Aug;15(4):341-50. doi: 10.3290/j.jad.a29012. PMID: 23560252.
3. Bicalho AA, Valdívía AD, Barreto BC, Tantbirojn D, Versluis A, Soares CJ. Incremental filling technique and composite material--part II: shrinkage and shrinkage stresses. *Oper Dent.* 2014 Mar-Apr;39(2):E83-92. doi: 10.2341/12-442-L. Epub 2013 Oct 14. PMID: 24125075.
4. Heintze SD, Loguercio AD, Hanzen TA, Reis A, Rousson V. Clinical efficacy of resin-based direct posterior restorations and glass-ionomer restorations - An updated meta-analysis of clinical outcome parameters. *Dent Mater.* 2022 May;38(5):e109-e135. doi: 10.1016/j.dental.2021.10.018. Epub 2022 Feb 24. PMID: 35221127.
5. Sousa-Lima RX, Silva L, Chaves L, Geraldeli S, Alonso R, Borges B. Extensive assessment of the physical, mechanical, and adhesion behavior of a low-viscosity bulk fill composite and a traditional resin composite in tooth cavities. *Oper Dent.* 2017 Sep/Oct;42(5):E159-E166. doi: 10.2341/16-299-L. PubMed PMID: 28829935.
6. Rosatto CM, Bicalho AA, Veríssimo C, Bragança GF, Rodrigues MP, Tantbirojn D, et al. Mechanical properties, shrinkage stress, cuspal strain and fracture resistance of molars restored with bulk-fill composites and incremental filling technique. *J Dent.* 2015 Dec;43(12):1519-28. doi: 10.1016/j.jdent.2015.09.007. Epub 2015 Oct 9. PubMed PMID: 26449641.
7. 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. doi: 10.2341/22-021-L. PubMed PMID: 36917633.
8. Rueggeberg FA. State-of-the-art: dental photocuring--a review. *Dent Mater.* 2011 Jan;27(1):39-52. doi: 10.1016/j.dental.2010.10.021. Epub 2010 Nov 30. PubMed PMID: 21122903.7
9. Price RB, Ferracane JL, Shortall AC. Light-curing units: a review of what we need to know. *J Dent Res.* 2015 Sep;94(9):1179-86. doi: 10.1177/0022034515594786. Epub 2015 Jul 8. PubMed PMID: 26156516.

10. Moszner N, Fischer UK, Ganster B, Liska R, Rheinberger V. Benzoyl germanium derivatives as novel visible light photoinitiators for dental materials. *Dent Mater.* 2008 Jul;24(7):901-7. doi: 10.1016/j.dental.2007.11.004. Epub 2007 Dec 21. PMID: 18155290.
11. Rueggeberg FA. State-of-the-art: dental photocuring--a review. *Dent Mater.* 2011 Jan;27(1):39-52. doi: 10.1016/j.dental.2010.10.021. Epub 2010 Nov 30. PubMed PMID: 21122903.
12. Harlow JE, Rueggeberg FA, Labrie D, Sullivan B, Price RB. Transmission of violet and blue light through conventional (layered) and bulk cured resin-based composites. *J Dent.* 2016 Oct;53:44-50. doi: 10.1016/j.jdent.2016.06.007. Epub 2016 Jun 30. PubMed PMID: 27373167.
13. Shimokawa C, 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/Oct;42(5):537-47. doi: 10.2341/16-349-L. Epub 2017 Jun 5. PubMed PMID: 28581917.
14. Price RBT. Light curing in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2017 Oct;61(4):751-78. doi: 10.1016/j.cden.2017.06.008. PubMed PMID: 28886767.
15. Benetti AR, Havndrup-Pedersen C, Honoré D, Pedersen MK, Pallesen U. Bulk-fill resin composites: polymerization contraction, depth of cure, and gap formation. *Oper Dent.* 2015 Mar-Apr;40(2):190-200. doi: 10.2341/13-324-L. Epub 2014 Sep 11. PubMed PMID: 25216940.
16. Fronza BM, Rueggeberg FA, Braga RR, Mogilevych B, Soares LE, Martin AA, et al. Monomer conversion, microhardness, internal marginal adaptation, and shrinkage stress of bulk-fill resin composites. *Dent Mater.* 2015 Dec;31(12):1542-51. doi: 10.1016/j.dental.2015.10.001. Epub 2015 Nov 20. PubMed PMID: 26608118.
17. Price RB, Ferracane JL, Hickel R, Sullivan B. The light-curing unit: An essential piece of dental equipment. *Int Dent J.* 2020 Dec;70(6):407-417. doi: 10.1111/idj.12582. Epub 2020 Jul 21. PMID: 32696512; PMCID: PMC9379154.
18. Price RB, Ferracane JL, Shortall AC. Light-Curing Units: A Review of What We Need to Know. *J Dent Res.* 2015 Sep;94(9):1179-86. doi: 10.1177/0022034515594786. Epub 2015 Jul 8. PMID: 26156516.
19. Harlow JE, Rueggeberg FA, Labrie D, Sullivan B, Price RB. Transmission of violet and blue light through conventional (layered) and bulk cured resin-based composites. *J Dent.* 2016 Oct;53:44-50. doi: 10.1016/j.jdent.2016.06.007. Epub 2016 Jun 30. PMID: 27373167.

20. Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Hüsler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater*. 2012 May;28(5):521-8. doi: 10.1016/j.dental.2012.02.002. Epub 2012 Mar 3. PMID: 22391146.
21. Santini A, Gallegos IT, Felix CM. Photoinitiators in dentistry: a review. *Prim Dent J*. 2013 Oct;2(4):30-3. doi: 10.1308/205016814809859563. PMID: 24466621.
22. Hadis MA, Shortall AC, Palin WM. The power of light - From dental materials processing to diagnostics and therapeutics. *Biomater Investig Dent*. 2024 Mar 18;11:40308. doi: 10.2340/biid.v11.40308. PMID: 38645925; PMCID: PMC11022655.