www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v. 30, n. 164, 2026 | DOI: 10.69849/jk6f9n32

Influência da condição das ponteiras de fotopolimerização na irradiância de aparelhos led utilizados em odontologia

Influence of light-curing tip condition on the irradiance of led units in dentistry

Fernando Hélio Braga Camurça
Gustavo Alves Peixoto Velozo
Paulo Roberto Marão Andrade Carvalho

RESUMO:
As restaurações diretas em resina composta constituem uma alternativa estética e funcional amplamente utilizada na odontologia. Seu desempenho clínico depende não apenas das propriedades do material e da técnica restauradora, mas também da eficiência da fotoativação. A luz deve promover conversão adequada dos monômeros, contribuindo para microdureza, resistência mecânica, estabilidade dimensional e integridade marginal. Nesse contexto, a condição das ponteiras pode interferir na transmissão luminosa e na energia efetivamente entregue à restauração. Objetivo: Analisar a influência da condição das ponteiras de fotopolimerização sobre a irradiância emitida por unidades LED e discutir suas possíveis implicações para a qualidade das restaurações em resina composta. Metodologia: Foi realizado um estudo de campo, quantitativo e descritivo, associado a uma revisão de literatura. Foram avaliadas duas unidades fotopolimerizadoras LED e seis ponteiras utilizadas em condições odontológicas. A irradiância foi mensurada com radiômetro digital RD-7, nos modos contínuo e turbo, antes e após a limpeza das ponteiras com álcool 70%. Para cada condição, foram realizadas medições mantendo-se o mesmo posicionamento sobre o sensor. Os dados foram organizados em tabelas e analisados de forma descritiva e comparativa. A revisão abordou fotoativação, irradiância, integridade das ponteiras, grau de conversão, microdureza, profundidade de cura, contração de polimerização, microinfiltração e desempenho restaurador. Resultados: Antes da limpeza, a irradiância variou de 438 a 910 mW/cm² no modo contínuo e de 248 a 1368 mW/cm² no modo turbo. Após a limpeza, os valores variaram de 475 a 1411 mW/cm² e de 475 a 1430 mW/cm², respectivamente. Houve aumento médio da irradiância após a higienização, especialmente no modo turbo, embora a resposta não tenha sido uniforme entre todas as ponteiras. O modo turbo apresentou, em geral, valores superiores aos do modo contínuo. Conclusão: A limpeza das ponteiras pode melhorar a transmissão luminosa, mas não

substitui a inspeção visual, o monitoramento radiométrico e a substituição de componentes danificados. A variabilidade observada reforça que a eficiência da fotoativação depende da interação entre equipamento, ponteira, material restaurador e técnica clínica. Embora este estudo não tenha avaliado diretamente propriedades mecânicas ou desempenho clínico, seus achados destacam a importância da manutenção periódica dos fotopolimerizadores para favorecer a qualidade das restaurações em resina composta.

Palavras-chave: Resinas Compostas. Fotopolimerização. Materiais Dentários. Restauração Dentária.

ABSTRACT:

Introduction: Direct composite resin restorations are widely used in dentistry as an aesthetic and functional treatment option. Their clinical performance depends not only on the properties of the restorative material and the operative technique, but also on the efficiency of light curing. Adequate light activation promotes the conversion of monomers, contributing to the microhardness, mechanical strength, dimensional stability, and marginal integrity of the restoration. In this context, the condition of the light-curing tips may interfere with light transmission and with the amount of energy effectively delivered to the restorative material. Objective: To analyze the influence of the condition of light-curing tips on the irradiance emitted by LED curing units and discuss its possible implications for the quality of composite resin restorations. Methodology: A quantitative and descriptive field study was conducted in association with a literature review. Two LED light-curing units and six light-curing tips used under dental conditions were evaluated. Irradiance was measured using an RD-7 digital radiometer in continuous and turbo modes, before and after cleaning the tips with 70% alcohol. For each condition, measurements were performed while maintaining the same positioning over the sensor. The data were organized in tables and analyzed descriptively and comparatively. The literature review addressed light curing, irradiance, tip integrity, degree of conversion, microhardness, curing depth, polymerization shrinkage, microleakage, and restorative performance. Results: Before cleaning, irradiance ranged from 438 to 910 mW/cm² in continuous mode and from 248 to 1368 mW/cm² in turbo mode. After cleaning, the values ranged from 475 to 1411 mW/cm² and from 475 to 1430 mW/cm², respectively. An increase in mean irradiance was observed after cleaning, particularly in turbo mode, although the response was not uniform among all tips. Turbo mode generally presented higher values than continuous mode. Conclusion: Cleaning the light-curing tips may improve light transmission; however, it does not replace visual inspection, radiometric monitoring, or the replacement of damaged components. The observed variability reinforces that light-curing efficiency depends on the interaction among the equipment, the tip, the restorative material, and the clinical technique. Although this study did not directly evaluate mechanical properties or clinical performance, its findings highlight the importance of periodic maintenance of light-curing units to support the quality of composite resin restorations.

Keywords: Composite Resins. Photopolymerization. Dental Materials. Dental Restoration

1 INTRODUÇÃO

As restaurações diretas em resina composta se consolidaram como uma das principais alternativas para reabilitação estética e funcional em dentes posteriores e anteriores. Entretanto, a longevidade clínica das restaurações não depende apenas do material escolhido, mas de um conjunto de etapas operatórias que inclui principalmente a qualidade do material que está sendo usado, mas também etapas procedimentais como a adesão, inserção, acabamento e, de modo decisivo, a fotopolimerização (Hasanain; Soayfane; Aljabr, 2021). Entre essas etapas, a fotoativação é crítica por determinar a qualidade da conversão dos monômeros em polímero, influenciando propriedades mecânicas, estabilidade dimensional e integridade marginal da restauração, essas etapas cruciais são diretamente afetadas pela qualidade da ponteira do fotopolimerizador (Lehmann *et al.,* 2024).

A fotopolimerização adequada está relacionada ao alcance de um grau de conversão satisfatório e, por consequência, maior microdureza, resistência ao desgaste e desempenho clínico. Em contrapartida, a polimerização insuficiente pode comprometer a resistência do compósito, favorecer a degradação do material, alteração de cor e redução da durabilidade da restauração (Hasanain; Soayfane; ALJABR, 2021; Lehmann *et al.,* 2024). Assim, a técnica de fotoativação deixa de ser um “detalhe” do procedimento para se tornar um determinante direto da qualidade do resultado restaurador.

Um dos principais desafios associados à fotopolimerização é a contração de polimerização e o consequente estresse gerado na interface dente-restauração. Esse estresse pode se traduzir clinicamente em falhas de adaptação marginal, microinfiltração, sensibilidade pós-operatória e maior risco de cárie secundária, especialmente em cavidades com alto fator C (Fernandes *et al.,* 2022). Diante disso, surgiram protocolos de fotoativação que buscam modular a reação, como soft-start, ramp e pulse-delay, com a proposta de reduzir o estresse inicial e melhorar o selamento marginal (Fernandes *et al.*, 2022).

Paralelamente, houve evolução tecnológica das unidades fotopolimerizadoras, especialmente com LEDs de diferentes gerações e espectros, o que ampliou a oferta de

modos e intensidades de emissão. A literatura aponta que não apenas a intensidade nominal, mas também distância da ponteira, homogeneidade do feixe e modo de exposição interferem na irradiância efetiva entregue ao material e, portanto, na eficiência de polimerização. Isso é clinicamente relevante porque variações pequenas na técnica (ex.: ponteira afastada, inclinação, fotopolimerização parcial por acesso restrito) podem resultar em cura heterogênea, sobretudo em incrementos mais profundos (Lehmann *et al.,* 2024).

Outra discussão atual envolve a interação entre técnica de inserção e estratégia de fotoativação, especialmente com a difusão das resinas bulk-fill. Revisões recentes indicam que, em termos de efetividade clínica, restaurações bulk-fill podem apresentar desempenho comparável ao incremental em diversos desfechos, embora as recomendações variem conforme o material, profundidade, controle de luz e protocolo de cura (Sengupta *et al.*, 2023). Isso reforça que a “qualidade da restauração” é multifatorial: depende do compósito, do desenho cavitário, do modo de inserção e do protocolo de fotoativação empregado.

No contexto da interface dente–restauração, estudos com métodos avançados de avaliação, como micro-CT, mostram que adaptação marginal e interna pode se alterar conforme a técnica restauradora e condições de polimerização, com impacto potencial na formação de gaps e continuidade da interface (Piskin *et al.*, 2025). Esses achados sustentam que avaliar a influência da técnica de fotopolimerização não deve se limitar a desfechos laboratoriais isolados (microdureza, grau de conversão), mas também considerar parâmetros de integridade interfacial, selamento e desempenho clínico.

Adicionalmente, embora avanços tecnológicos tenham ampliado a potência luminosa dos fotopolimerizadores modernos, aspectos relacionados à qualidade e integridade das ponteiras de transmissão de luz vêm sendo negligenciados na prática clínica. Ponteiras danificadas, opacificadas ou com microfraturas podem reduzir significativamente a irradiância efetivamente entregue ao material restaurador, comprometendo o grau de conversão da resina composta e favorecendo falhas como microinfiltração e degradação marginal. Evidências experimentais recentes indicam que alterações na transmissão luminosa decorrentes de danos físicos nas ponteiras podem impactar negativamente o desempenho das restaurações, variando conforme o tipo de

resina utilizada (convencional versus bulk-fill) e as condições de exposição luminosa, o que reforça a importância de avaliar criticamente esse fator frequentemente subestimado.

Dessa forma, considerando a relevância clínica da fotoativação adequada e a crescente dependência de dispositivos de alta potência, torna-se pertinente sintetizar as evidências científicas acerca do impacto da integridade das ponteiras de fotopolimerização na qualidade das restaurações em resina composta. Assim, esta revisão de literatura propõe-se a organizar o conhecimento recente sobre como falhas estruturais nas ponteiras influenciam propriedades físico-mecânicas, adaptação marginal e desempenho clínico das restaurações .

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A evolução das resinas compostas revolucionou a odontologia restauradora ao possibilitar procedimentos estéticos, conservadores e com adequado desempenho mecânico. Entretanto, o sucesso clínico dessas restaurações depende diretamente da eficiência do processo de fotopolimerização, etapa responsável pela conversão dos monômeros resinosos em uma matriz polimérica tridimensional estável. A formação dessa rede polimérica está intimamente relacionada à quantidade de energia luminosa entregue ao material, à composição da resina e às características do aparelho fotopolimerizador utilizado (Rueggeberg *et al*., 2017).

A fotoativação ocorre por meio da absorção da luz emitida pelo fotopolimerizador pelos fotoiniciadores presentes na matriz orgânica da resina, desencadeando reações de polimerização por meio da formação de radicais livres. A eficiência desse processo está diretamente relacionada à irradiância (mW/cm²), ao tempo de exposição e à energia radiante total (J/cm²), parâmetros que influenciam o grau de conversão e, consequentemente, as propriedades do material restaurador. Estudos recentes demonstram que variações nesses parâmetros podem comprometer significativamente a formação da rede polimérica, resultando em materiais mais suscetíveis à degradação química e mecânica (Soares *et al*., 2017; Grazioli *et al*., 2022; Faria *et al*., 2025).

Além dos parâmetros energéticos, a eficiência da transmissão luminosa representa um fator crítico para a profundidade de cura. A luz emitida deve atravessar a ponteira do fotopolimerizador, alcançar a superfície restauradora e penetrar nas camadas internas do compósito. Sendo assim, quaisquer alterações na integridade da ponteira, como opacificação, desgaste superficial e microfraturas, podem reduzir significativamente a irradiância efetiva, comprometendo a polimerização em regiões mais profundas e favorecendo a formação de zonas sub polimerizadas. Esse fenômeno é particularmente relevante na prática clínica, onde a degradação progressiva do equipamento muitas vezes não é perceptível ao operador (Price; Ferracane; Shortall, 2015; Brito *et al*., 2022).

A literatura demonstra de forma consistente que a eficiência da fotopolimerização das resinas compostas depende não apenas da potência do equipamento, mas sobretudo da integridade das ponteiras responsáveis pela condução da luz até o material restaurador. Alterações estruturais como fraturas, opacificação superficial e acúmulo de resíduos reduzem significativamente a irradiância efetiva, comprometendo o grau de conversão dos monômeros em polímeros, o que resulta em menor resistência mecânica e maior suscetibilidade à degradação clínica. Investigações laboratoriais evidenciaram reduções superiores a 40% na intensidade luminosa em ponteiras danificadas, mesmo quando utilizadas com aparelhos de alta potência, indicando que o desempenho do sistema de fotoativação é fortemente influenciado pelo estado físico do condutor de luz (Price *et al.,* 2015; Brito *et al*., 2022).

A análise dos dados também revelou que a diminuição da transmissão luminosa promovida por ponteiras comprometidas impacta diretamente o grau de conversão da resina composta, parâmetro fundamental para a estabilidade química e durabilidade das restaurações. Estudos utilizando espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier demonstraram que restaurações fotoativadas com ponteiras opacas ou trincadas apresentaram polimerização incompleta, sobretudo nas camadas mais profundas do material, aumentando o risco de falhas precoces. Esses achados são clinicamente relevantes, uma vez que baixos níveis de conversão estão associados à maior liberação de monômeros residuais, sensibilidade pós- operatória e deterioração marginal ao longo do tempo (Rueggeberg *et al.,* 2017; Duman *et al.,* 2024).

No que se refere às propriedades físico-mecânicas, os estudos incluídos indicaram redução significativa da microdureza superficial e profunda das resinas compostas quando a fotoativação foi realizada por meio de ponteiras danificadas. Ensaios de dureza Knoop e Vickers demonstraram queda progressiva da resistência conforme aumentava o grau de opacificação da ponteira, mesmo sob tempos de exposição prolongados. Tal fenômeno sugere que a simples ampliação do tempo de fotoativação não é suficiente para compensar a perda de energia luminosa causada por falhas estruturais do dispositivo condutor, reforçando a necessidade de monitoramento constante da qualidade do equipamento clínico (Mikhail *et al.,* 2014; Santos *et al.,* 2022; Oliveira *et al*., 2021).

A literatura também evidenciou forte associação entre ponteiras comprometidas e aumento da microinfiltração marginal das restaurações em resina composta. Estudos com corantes, infiltração bacteriana e análises por microscopia eletrônica de varredura demonstraram maior penetração de fluidos na interface dente-restauração quando a energia luminosa foi insuficiente para promover adequada polimerização. Essa deficiência favorece falhas adesivas, degradação do sistema adesivo e desenvolvimento de cárie secundária, configurando um dos principais mecanismos de insucesso clínico das restaurações diretas (Ferracane, 2011; Bortolotto *et al.,* 2016).

Ao comparar diferentes tipos de resinas compostas, observou-se que materiais bulk-fill apresentaram maior sensibilidade à redução de irradiância causada por ponteiras danificadas, sobretudo em incrementos mais espessos. Embora essas resinas sejam formuladas para permitir maior profundidade de cura, os estudos indicaram que sua performance é fortemente dependente da eficiência luminosa do sistema de fotoativação.

Quando utilizadas com ponteiras comprometidas, apresentaram queda expressiva no grau de conversão em regiões profundas, comportamento menos pronunciado nas resinas convencionais aplicadas em incrementos delgados (Ilie & Stark, 2014; Lima *et al.,* 2018; Faria *et al*., 2025).

Outro achado relevante diz respeito ao estresse de contração de polimerização, que se mostrou aumentado em condições de cura inadequadas decorrentes da perda de energia luminosa. A polimerização incompleta promove formação irregular da rede polimérica, gerando tensões concentradas na interface adesiva, o que potencializa a

formação de fendas marginais. Estudos experimentais demonstraram que a qualidade da luz transmitida pela ponteira influencia diretamente a cinética de polimerização, afetando o equilíbrio entre conversão adequada e controle do estresse, aspecto essencial para a longevidade restauradora (Al sunbul *et al.,* 2016; Lima *et al.,* 2018).

No âmbito clínico, pesquisas observacionais relataram maior frequência de falhas restauradoras em consultórios que utilizavam fotopolimerizadores com ponteiras desgastadas, muitas vezes sem que os profissionais percebessem a redução da eficiência luminosa. Problemas como fraturas marginais, perda de brilho superficial, manchamento precoce e sensibilidade pós-operatória foram significativamente mais comuns nesses contextos. Esses dados reforçam que a negligência quanto à manutenção e substituição das ponteiras constitui fator de risco evitável para o insucesso restaurador (Santos *et al.,* 2022; Rueggeberg *et al.,* 2017).

De modo geral, os resultados convergem para a compreensão de que a integridade das ponteiras de fotopolimerização é elemento crítico para a qualidade das restaurações em resina composta, influenciando desde parâmetros laboratoriais fundamentais até o desempenho clínico a longo prazo. A literatura aponta que inspeções regulares, limpeza adequada e substituição periódica das ponteiras são estratégias simples e eficazes para assegurar adequada transmissão luminosa e prevenir falhas restauradoras. Entretanto, observa-se escassez de protocolos clínicos padronizados para monitoramento desses dispositivos, configurando uma lacuna relevante a ser explorada por futuras pesquisas (Grazioli *et al.,* 2022; Soares *et al.,* 2017).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Influência da condição das ponteiras na irradiância de fotopolimerizadores led e suas implicações para restaurações em resina composta.

3.2 Objetivos específicos

- Descrever os fundamentos da fotopolimerização das resinas compostas e o papel das ponteiras na transmissão da luz;

- Avaliar como danos estruturais nas ponteiras de fotopolimerização interferem na irradiância efetiva entregue ao material restaurador;

4 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de um estudo de campo de abordagem quantitativa e analítica, com o fito de observar a diferença de irradiância dos fotopolimerizadores e verificar a influência da condição das ponteiras sobre a quantidade de luz registrada pelo radiômetro. O estudo não avaliou diretamente a qualidade clínica das restaurações, a microinfiltração, a microdureza, a resistência mecânica ou o grau de conversão das resinas compostas.

Foram realizadas medições pontuais com dois radiômetros específicos para luz halógena e LED (RD-7, ECEL, Ribeirão Preto, Brasil) e radiômetro quazar FGM, frequentemente citado na literatura para controle de qualidade de unidades fotopolimerizadoras. Nessas medições ilustrativas, aferiu-se a irradiância de uma unidade fotopolimerizadora LED em diferentes ponteiras de transmissão de luz, mantidas sob condições clínicas rotineiras, destacando visualmente a influência da sujidade e da integridade das ponteiras sobre os valores de saída luminosa. Os dados obtidos foram analisados de forma experimental, comparando a diferença de irradiância conforme o modo de luminosidade escolhido.

4.1 Embasamento teórico

O embasamento teórico da pesquisa foi consolidado conforme estudos de grande porte selecionados nas bases de dados PubMed/MEDLINE e Cochrane Library, selecionadas por sua ampla cobertura e rigor metodológico na indexação de pesquisas na área da saúde. Foram utilizados descritores controlados e termos livres relacionados à fotopolimerização, às ponteiras de transmissão de luz e às restaurações em resina composta, combinados por meio de operadores booleanos. Os principais termos empregados incluíram: “lightcuring”,“photopolymerization”,“curing tip”, “light guide”, “composite resin”, “dental restoration”, “irradiance reduction” e “curing efficiency”. As estratégias de busca foram estruturadas da seguinte forma: ("light curing" OR

"photopolymerization") AND ("curing tip" OR "light guide") AND ("composite resin" OR "resin restoration"); ("curing tip damage" AND "irradiance"); ("lighttransmission" AND "composite resin").

Foram incluídos estudos que atenderam aos seguintes critérios: artigos publicados preferencialmente nos últimos cinco anos; estudos de acesso aberto; ensaios laboratoriais, revisões sistemáticas, estudos clínicos e análises experimentais; pesquisas que abordassem diretamente a influência da integridade das ponteiras de fotopolimerização sobre propriedades físico-mecânicas, adaptação marginal, microinfiltração, grau de conversão ou desempenho clínico das restaurações em resina composta. Foram excluídos estudos publicados fora do período delimitado, salvo quando considerados fundamentais para a compreensão do tema; artigos que não relacionassem a qualidade da ponteira à fotoativação e aos desfechos restauradores; trabalhos duplicados nas bases de dados; relatos de caso, cartas ao editor e estudos sem metodologia claramente descrita.

Inicialmente, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos para identificação dos artigos potencialmente relevantes. Posteriormente, os textos completos dos estudos selecionados foram analisados integralmente, aplicando-se rigorosamente os critérios de inclusão e exclusão. Os artigos finais foram organizados conforme os principais desfechos investigados, incluindo grau de conversão, microdureza, estresse de contração, adaptação marginal, microinfiltração e desempenho clínico.

Os dados extraídos foram sistematizados de forma quantitativa e analítica, enfatizando a relação entre o estado físico das ponteiras de fotopolimerização e os parâmetros de qualidade das restaurações em resina composta. A interpretação dos achados foi realizada à luz das evidências mais recentes, buscando identificar padrões, consensos, divergências e lacunas existentes na literatura científica.

4.2 Local

A pesquisa foi realizada no departamento de odontologia da Afya São Lucas, localizada no município de Porto Velho, estado de Rondônia, no primeiro semestre do ano de 2026. As medições foram realizadas em condições de uso dos equipamentos

disponíveis no local da pesquisa, respeitando-se as características operacionais de cada unidade fotopolimerizadora.

4.3 Coleta de dados

Inicialmente, cada fotopolimerizador e cada ponteira foram identificados por meio de códigos. Em seguida, foi realizada uma inspeção visual das ponteiras, considerando se a presença de resíduos, opacificação, riscos, trincas, fraturas ou outras alterações aparentes. Posteriormente, o radiômetro RD-7 foi posicionado em uma superfície estável e utilizada conforme as recomendações do fabricante. A ponteira foi posicionada de forma centralizada sobre o sensor do radiômetro, mantendo-se a mesma técnica de posicionamento em todas as medições.

As leituras foram realizadas nos modos contínuo e turbo, quando disponíveis em cada aparelho. Para cada ponteira e modo de operação, foi realizada 1 medição. Quando foram realizadas várias leituras, calculou-se a média dos valores obtidos para representar cada condição experimental.

Na primeira etapa, foram registradas as medidas de irradiância das ponteiras em sua condição inicial de uso, incluindo aquelas que apresentavam sujidade visível. Após essa etapa, foi realizada a limpeza superficial das ponteiras com álcool 70%, conforme o procedimento adotado pelos pesquisadores e as orientações de uso do fabricante. Após a limpeza e a secagem das ponteiras, as medições foram repetidas utilizando-se o mesmo radiômetro, o mesmo aparelho, o mesmo modo de operação e a mesma técnica de posicionamento. Dessa forma, foi possível comparar os valores de irradiância registrados antes e após a limpeza de cada ponteira. Quando foi avaliado um segundo fotopolimerizador, o mesmo protocolo de medição foi aplicado, respeitando-se as características próprias do aparelho e os modos de operação disponibilizados pelo fabricante.

4.4 Organização e análise dos dados

Os dados foram organizados em planilha eletrônica e analisados de forma descritiva e comparativa. Para cada ponteira e modo de operação, foram calculados os valores mínimo e máximo, a média, a mediana e, quando aplicável, o desvio-padrão. A comparação entre os valores obtidos antes e após a limpeza foi realizada considerando-se a natureza pareada dos dados. Como a amostra prevista é reduzida, recomenda-se a utilização do teste de Wilcoxon para amostras pareadas. O teste t pareado poderá ser utilizado somente se os dados apresentaram distribuição aproximadamente normal e número de observações adequado.

Foi adotado nível de significância de 5%, quando aplicável. Caso o número de ponteiras seja muito pequeno para uma análise estatística inferencial confiável, os resultados deverão ser apresentados exclusivamente de forma descritiva, sem a inclusão de valores de p. Os valores medidos também foram comparados, de forma individual, com as informações de irradiância fornecidas pelos fabricantes. Não foi utilizado um ponto de corte universal para classificar todos os aparelhos, pois a interpretação da irradiância deve considerar o modelo do equipamento, o material restaurador, o tempo de exposição e as recomendações do fabricante.

4.5 Aspectos éticos

A pesquisa envolveu a avaliação de equipamentos odontológicos e não incluiu pacientes, amostras biológicas, prontuários ou informações pessoais de profissionais. A coleta foi realizada mediante autorização da instituição responsável pelos aparelhos.

5 RESULTADOS

Foi avaliada uma unidade fotopolimerizadora para LED e 6 ponteiras ou guias de luz utilizadas em condições de uso odontológico. Entre os equipamentos analisados, foram identificados o fotopolimerizador FGM Quazar e o radiômetro RD-7, conforme as informações fornecidas pelos fabricantes.

Figura 1 – Radiômetro digital RD-7 (ECEL, Ribeirão Preto, Brasil)



FONTE: Dos próprios autores. Legenda: utilizado para mensuração ilustrativa da irradiância de unidades fotopolimerizadoras LED.

Figura 2 - Especificações de unidades fotopolimerizadoras LED utilizadas em avaliações ilustrativas.



FONTE: Dos próprios autores, 2026. LEGENDA: Descrição dos aspectos de irradiância com informações de fabricante, modelo, lote, data de fabricação e registro na ANVISA, do fotopolimerizador FGM Quazar e fotopolimerizador Schuster.

As ponteiras foram identificadas por códigos, de P1 a P6, para permitir a comparação individual dos valores de irradiância antes e após a limpeza. As medições foram realizadas nos modos contínuo e turbo, quando disponíveis em cada aparelho.

A irradiância foi registrada em mW/cm² por meio do radiômetro digital RD-7. A primeira etapa foi realizada com as ponteiras em sua condição inicial de uso, caracterizada pela presença de sujidade visível. Posteriormente, as ponteiras foram submetidas à limpeza com álcool 70% e avaliadas novamente com o mesmo radiômetro.

5.1 Irradiância antes da limpeza

Na condição inicial, com presença de sujidade visível nas ponteiras, foram observadas diferenças entre os valores de irradiância registrados para as ponteiras avaliadas. No modo contínuo, os valores variaram de 438 a 910, com média aproximada de 689 mW/cm² e mediana de 737,5 mW/cm². A ponteira que apresentou o menor valor foi a P6, enquanto o maior valor foi registrado na ponteira P1.

No modo turbo, os valores variaram de 248 a 1368, com média aproximada de 1018 mW/cm² e mediana de 1154,5 mW/cm². Assim como no modo contínuo, foi observada variabilidade entre as ponteiras submetidas à avaliação. Os valores individuais das medições estão apresentados na Tabela 2 e nas Figuras 2 e 3.

Tabela 1 – Irradiância registrada no radiômetro RD-7 antes da limpeza das ponteiras

Aparelho	Ponteira	Modo contínuo (mW/cm2)	Modo turbo (mW/cm2)
RD-7	P1	910	1368
RD-7	P2	510	872
RD-7	P3	721	1235
RD-7	P4	754	1074
RD-7	P5	803	1310
RD-7	P6	438	248

Fonte: dos próprios autores, 2026.

Tabela 2 - Irradiância registrada no radiômetro RD-7 após limpeza das ponteiras com álcool 70%

Aparelho	Ponteira	Modo contínuo (mW/cm2)	Modo turbo (mW/cm2)
RD-7	P1	808	1430
RD-7	P2	607	976
RD-7	P3	844	1319
RD-7	P4	789	1169
RD-7	P5	1411	1411
RD-7	P6	475	475

Fonte: dos próprios autores, 2026.

Tabela 3 – Irradiância registrada no radiômetro Quazar após limpeza das ponteiras com álcool 70%

Aparelho	Ponteira	Modo contínuo (mW/cm2)	Modo turbo (mW/cm2)
QUAZAR	P1	910	1250
QUAZAR	P2	510	820
QUAZAR	P3	721	1030
QUAZAR	P4	754	1020
QUAZAR	P5	803	1130
QUAZAR	P6	438	850

Fonte: dos próprios autores, 2026.

4.2 Irradiância após a limpeza

Após a limpeza das ponteiras com álcool 70% e a secagem do material, as medições foram repetidas utilizando-se o mesmo aparelho, o mesmo modo de operação e a mesma técnica de posicionamento no radiômetro.

No modo contínuo, os valores registrados após a limpeza variaram de 475 a 1411, com média de aproximadamente 822 mW/cm^2. No modo turbo, os valores variaram de 475 a 1430, com média de 1130 mW/cm^2. De modo geral, os valores registrados após a limpeza foram superiores aos observados na condição inicial em todas as ponteiras avaliadas no modo turbo e em 5 das 6 ponteiras no modo contínuo.

4.3 Comparação entre os modos contínuo e turbo

Quando comparados os modos de operação dentro do mesmo aparelho e utilizando-se a mesma ponteira, os valores registrados no modo turbo foram, em geral, superiores aos observados no modo contínuo.

No aparelho RD-7 a média da irradiância no modo contínuo foi de 822 mW/cm^2, enquanto no modo turbo foi de 1130 mW/cm^2. No aparelho Quazar, foram observadas médias de 689 e 1016 mW/cm^2 nos modos contínuo e turbo, respectivamente.

A diferença entre os modos foi observada tanto nas ponteiras avaliadas antes da limpeza quanto após a limpeza. Entretanto, a comparação entre os modos deve ser interpretada considerando as especificações próprias de cada aparelho e os parâmetros definidos pelo fabricante.

4.4 Comparação entre os radiômetros

As medições também demonstraram diferenças entre os aparelhos avaliados. Mesmo quando utilizado o mesmo radiômetro e adotada a mesma técnica de posicionamento da ponteira, os fotopolimerizadores apresentaram diferentes valores de irradiância. O aparelho FGM Quazar apresentou média dos valores obtidos de 689 e 1016 mW/cm^2 nos modos contínuo e turbo, respectivamente. O aparelho RD-7 apresentou médias de 822 mW/cm^2 e 1130 mW/cm^2 nos respectivos modos.

Esses resultados indicam que a irradiância registrada não depende exclusivamente da aparência externa da ponteira, mas também das características do aparelho, do modo de operação e das condições de transmissão da luz.

5 DISCUSSÃO

A presente pesquisa avaliou a irradiância emitida por seis ponteiras ou guias de luz utilizadas em condições de uso odontológico, comparando os valores registrados antes e após a limpeza superficial com álcool 70%. Os principais achados foram a variabilidade da irradiância entre as ponteiras, o aumento dos valores médios após a limpeza no conjunto de medições pareadas e a tendência de maiores valores no modo turbo em comparação ao modo contínuo. Esses resultados devem ser interpretados como uma avaliação do desempenho luminoso dos equipamentos, não como uma análise direta da qualidade ou da longevidade das restaurações em resina composta.

Antes da limpeza, a irradiância registrada no modo contínuo variou de 438 a 910 mW/cm2, com média de aproximadamente 689 mW/cm2 e mediana de 737,5 mW/cm2. No modo turbo, os valores variaram de 248 a 1368 mW/cm2, com média de aproximadamente 1018 mW/cm2 e mediana de 1154,5 mW/cm2. A amplitude observada entre os valores mínimo e máximo demonstra que as ponteiras não apresentaram

comportamento uniforme, mesmo quando submetidas ao mesmo aparelho e avaliadas com o mesmo radiômetro.

A ponteira P6 apresentou os menores valores na condição inicial, tanto no modo contínuo quanto no modo turbo, enquanto a ponteira P1 apresentou o maior valor no modo contínuo. Essa diferença entre as ponteiras sugere que a transmissão da luz pode ser influenciada pelas condições individuais de cada guia de luz. Resíduos aderidos à superfície, opacificação, desgaste, riscos, microfraturas, posicionamento inadequado ou diferenças na adaptação da ponteira ao aparelho podem alterar a quantidade de luz que alcança o sensor do radiômetro. Entretanto, como a avaliação visual realizada neste estudo se concentrou principalmente na presença de sujidade, não é possível atribuir todas as diferenças exclusivamente à existência de danos estruturais.

Após a limpeza das ponteiras, os valores registrados no primeiro conjunto de medições variaram de 475 a 1411 mW/cm2 no modo contínuo, com média aproximada de 822 mW/cm2. No modo turbo, os valores variaram de 475 a 1430 mW/cm2, com média de aproximadamente 1130 mW/cm2. Considerando-se a comparação pareada entre as Tabelas 1 e 2, observou-se aumento da irradiância em cinco das seis ponteiras no modo contínuo e em todas as seis ponteiras no modo turbo.

A média da irradiância aumentou aproximadamente 19,3% no modo contínuo e 11,0% no modo turbo após a limpeza. Esses resultados sustentam a hipótese de que a presença de resíduos na superfície de transmissão pode reduzir a irradiância registrada pelo radiômetro. Contudo, o aumento não ocorreu de maneira uniforme. No modo contínuo, por exemplo, a ponteira P1 apresentou redução de 910 para 808 mW/cm2, enquanto a ponteira P5 apresentou aumento de 803 para 1411 mW/cm2. Essa variação indica que o procedimento de limpeza pode ter contribuído para a recuperação da transmissão luminosa, mas também demonstra que outros fatores relacionados à medição e ao funcionamento do equipamento devem ser considerados.

Os achados estão de acordo com a literatura que destaca a importância da integridade do caminho óptico entre o LED e o material restaurador. Price, Ferracane e Shortall (2015) ressaltam que o desempenho dos aparelhos fotopolimerizadores não deve ser avaliado apenas pela potência nominal informada pelo fabricante, uma vez que a

irradiância efetivamente entregue pode ser modificada pela ponteira, pela distância, pela inclinação e pelas condições de uso. Da mesma forma, Brito et al. (2022) demonstraram que muitos aparelhos utilizados em ambientes clínicos e acadêmicos podem apresentar valores inferiores aos recomendados, reforçando a necessidade de monitoramento periódico.

A limpeza das ponteiras constitui uma medida simples para reduzir a interferência de resíduos sobre a transmissão da luz. No entanto, o resultado observado neste estudo não permite afirmar que a limpeza seja capaz de recuperar a eficiência de ponteiras que apresentem fraturas, opacificação permanente ou desgaste estrutural. Nesses casos, a substituição da ponteira ou a manutenção do aparelho pode ser necessária. Além disso, o uso de álcool 70% deve ser realizado somente quando compatível com as recomendações do fabricante, pois diferentes materiais e revestimentos podem apresentar sensibilidades distintas aos produtos de limpeza.

Na comparação entre os modos de operação, o modo turbo apresentou, de maneira geral, valores médios superiores aos do modo contínuo. No primeiro aparelho, a média foi de aproximadamente 822 mW/cm2 no modo contínuo e 1130 mW/cm2 no modo turbo após a limpeza. Na avaliação apresentada para o FGM Quazar, foram observadas médias de aproximadamente 689 mW/cm2 no modo contínuo e 1016 mW/cm2 no modo turbo.

Apesar dessa tendência, o modo turbo não apresentou valores superiores em todas as ponteiras individualmente. Na condição inicial, a ponteira P6 apresentou valor inferior no modo turbo em comparação ao modo contínuo. Após a limpeza, as ponteiras P5 e P6 apresentaram valores iguais nos dois modos, de acordo com os dados da Tabela 2. Portanto, a conclusão mais adequada é que o modo turbo apresentou maior irradiância média, mas não necessariamente maior valor em todas as medições individuais.

Essa diferença entre os modos deve ser interpretada com cautela. A irradiância, expressa em mW/cm2, representa a potência luminosa distribuída por unidade de área em determinado momento. A quantidade total de energia entregue ao material depende também do tempo de exposição, podendo ser expressa pela energia radiante: $H = I \times T$. Do qual H representa a energia radiante, I a irradiância e T o tempo de exposição. Como

os resultados apresentados não informam, de forma detalhada, os tempos programados em cada modo, não é possível afirmar apenas com base na irradiância que o modo turbo tenha produzido maior energia total ou melhor polimerização da resina.

A comparação entre os aparelhos também demonstrou diferenças na irradiância registrada. Nas condições apresentadas, o FGM Quazar apresentou médias de aproximadamente 689 mW/cm2 no modo contínuo e 1016 mW/cm2 no modo turbo, enquanto o outro conjunto de medições apresentou médias de 822 mW/cm2 e 1130 mW/cm2, respectivamente. Essa diferença reforça que aparelhos distintos podem apresentar perfis de emissão diferentes, mesmo quando avaliados com o mesmo radiômetro e utilizando técnica semelhante de posicionamento.

Entretanto, não se deve concluir que o aparelho que apresentou maior média de irradiância seja necessariamente superior para a realização de restaurações. A interpretação deve considerar os valores declarados pelo fabricante, o espectro de emissão, o tempo de exposição, a homogeneidade do feixe, a área efetiva da ponteira e a capacidade do radiômetro de registrar adequadamente a luz emitida. Além disso, se as medições foram realizadas em condições diferentes ou com aparelhos distintos, a comparação direta deve ser considerada exploratória.

Do ponto de vista clínico, a variabilidade observada é relevante porque a irradiância constitui um dos fatores que contribuem para a formação da rede polimérica das resinas compostas. Estudos descritos no referencial teórico demonstram que a irradiância e a energia radiante influenciam o grau de conversão, a microdureza, a resistência mecânica e a profundidade de cura dos materiais restauradores (Rueggeberg et al., 2017; Grazioli et al., 2022). Assim, valores reduzidos ou muito variáveis podem representar risco de polimerização insuficiente, principalmente quando associados a incrementos espessos, distância excessiva entre a ponteira e a restauração ou acesso clínico limitado.

Essa relação é particularmente importante para as resinas bulk-fill, que foram desenvolvidas para serem inseridas em incrementos mais espessos. Embora apresentem características ópticas que favoreçam a passagem da luz, a obtenção de adequada profundidade de cura continua dependente da energia luminosa efetivamente recebida pelo material. Estudos como os de Ilie e Stark (2014) e Lima et al. (2018)

demonstram que a profundidade de cura desses materiais pode ser influenciada pela irradiância, pelo tempo de exposição, pela translucidez e pela composição da resina.

Apesar disso, os resultados deste estudo não permitem afirmar que as ponteiras avaliadas tenham provocado redução do grau de conversão, da microdureza ou da resistência mecânica das restaurações. Esses desfechos não foram mensurados. Dessa forma, as possíveis consequências clínicas da redução da irradiância devem ser apresentadas como implicações teóricas baseadas na literatura, e não como resultados diretamente observados nesta pesquisa.

A mesma cautela deve ser aplicada à discussão sobre estresse de contração, adaptação marginal e microinfiltração. A literatura mostra que a cinética de polimerização e o grau de conversão podem influenciar o desenvolvimento de tensões internas e a integridade da interface adesiva (Al Sunbul; Silikas; Watts, 2016; Soares et al., 2017). Estudos também relatam associação entre condições inadequadas de fotoativação e alterações na adaptação marginal (Bortolotto; Betancourt; Krejci, 2016). Entretanto, não é possível afirmar, com base exclusivamente nas leituras do radiômetro, que a limpeza das ponteiras tenha reduzido a microinfiltração ou aumentado a longevidade das restaurações.

Os dados obtidos reforçam, portanto, a necessidade de combinar limpeza, inspeção visual e monitoramento radiométrico dos fotopolimerizadores. A limpeza pode remover resíduos que interferem na passagem da luz, mas não substitui a avaliação periódica da irradiância nem a substituição de componentes danificados. A literatura recomenda que os aparelhos sejam monitorados individualmente, pois a potência nominal informada pelo fabricante não garante que a mesma intensidade esteja sendo efetivamente entregue durante o uso clínico.

Entre as limitações desta pesquisa, destaca-se o número reduzido de ponteiras avaliadas, o que limita a generalização dos resultados. Além disso, a análise foi predominantemente descritiva, sem aplicação de testes estatísticos inferenciais. A utilização de um único radiômetro também deve ser considerada, uma vez que esses instrumentos podem apresentar limitações de leitura conforme o espectro emitido pelo

aparelho e não fornecem informações completas sobre a distribuição espacial da luz ou sobre o grau de conversão da resina.

Outra limitação é que não foram avaliados diretamente o tempo de exposição, a energia radiante, a profundidade de cura, a microdureza, o grau de conversão, a microinfiltração ou o desempenho clínico das restaurações. Pesquisas futuras devem incluir maior número de aparelhos e ponteiras, medições repetidas, verificação da calibração do radiômetro, comparação com os valores nominais dos fabricantes e avaliação laboratorial das resinas fotoativadas sob diferentes condições de irradiância.

De modo geral, os resultados sustentam a importância da condição das ponteiras para a transmissão luminosa dos fotopolimerizadores. A limpeza esteve associada ao aumento da irradiância média na maioria das medições pareadas, especialmente no modo turbo, embora não tenha eliminado a variabilidade entre as ponteiras. Dessa forma, a manutenção das ponteiras deve ser compreendida como parte do controle de qualidade da fotoativação, juntamente com a inspeção do equipamento, o monitoramento periódico com radiômetro e o cumprimento das recomendações do fabricante. As possíveis repercussões sobre a polimerização e o desempenho das restaurações são biologicamente plausíveis e respaldadas pela literatura, mas não foram diretamente demonstradas no presente estudo.

6 CONCLUSÃO

Na presente pesquisa de campo, observou-se variabilidade na irradiância emitida pelas ponteiras avaliadas e aumento dos valores médios após a limpeza superficial na maior parte das medições pareadas. Esses achados reforçam a importância da inspeção, limpeza e monitoração periódica dos fotopolimerizadores. Entretanto, como não foram avaliados diretamente o grau de conversão, a microdureza, a microinfiltração ou o desempenho clínico das restaurações, não é possível estabelecer uma relação direta entre os valores de irradiância obtidos e a qualidade final das restaurações em resina composta.

Adicionalmente, a literatura aponta que a manutenção inadequada dos fotopolimerizadores e a ausência de monitoramento sistemático da irradiância são

fatores frequentemente associados à redução do desempenho restaurador em ambientes clínicos e acadêmicos. Tal realidade evidencia a necessidade de incorporação de protocolos de inspeção periódica dos equipamentos, bem como de educação continuada dos profissionais quanto à importância da qualidade da luz de cura. Dessa forma, conclui-se que o sucesso clínico das restaurações em resina composta não depende exclusivamente das propriedades intrínsecas dos materiais restauradores, mas da interação entre técnica operatória, eficiência do sistema de fotopolimerização e controle da energia luminosa aplicada.

Em especial, destaca-se que a integridade e a manutenção das ponteiras de fotopolimerização constituem fatores críticos para a eficiência da fotoativação, devendo ser sistematicamente inspecionadas, higienizadas e substituídas sempre que necessário.

REFERÊNCIAS

AL SUNBUL, H.; SILIKAS, N.; WATTS, D. C. Polymerization shrinkage kinetics and shrinkage-stress in dental resin -composites. **Dental Materials**, v. 32, n. 8, p. 998–1006, 2016. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27240744/. Acesso em: 17 fev. 2026.

BORTOLOTTO, T.; BETANCOURT, F.; KREJCI, I. Marginal integrity of resin composite restorations restored with PPD initiator-containing resin composite cured by QTH, monowave and polywave LED units. **Dental Materials Journal**, v. 35, n. 6, p. 869– 875, 2016. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27725365/. Acesso em: 17 fev. 2026.

BRITO, G. C. B. et al. Avaliação da irradiância dos aparelhos fotoativadores da Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII. **Brazilian Journal of HealthReview**, v. 5, n. 6, p. 22393–22420, 2022. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/54049. Acesso em: 17 fev. 2026.

DUMAN, A. N.; CEVIK, P.; DOĞAN, A. The effect of the resin type and fillingplacement techniques on the degree of conversion of various resin -based composites. **Applied Sciences**, v. 14, n. 23, p. 11215, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/14/23/11215. Acesso em: 17 fev. 2026.

FARIA, N. S. et al. Impact of different resin materials and light-curing units on adhesive performance of fiber posts. **Brazilian Dental Journal**, v. 36, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0103-644020256846. Acesso em: 17 fev. 2026.

FERRACANE, J. L. Resin composite – state of the art. **Dental Materials**, v. 27, n. 1, p. 29–38, 2011. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21093034. Acesso em: 17 fev. 2026.

FERNANDES, L. K. P. Influência do método de fotopolimerização nas propriedades das resinas compostas. **Revista de Odontologia da UNESP**. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rounesp. Acesso em: 17 fev. 2026.

GRAZIOLI, G. et al. Evaluation of irradiance and radiant exposure on the polymerization and mechanical properties of a resin composite. **Brazilian Oral Research**, v. 36, p. e082, 2022. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35703707/. Acesso em: 17 fev. 2026.

HASANAIN, F. A.; NASSAR, H. M. Utilizing light cure units: a concise narrative review. **Polymers**, v. 13, n. 10, p. 1596, 2021. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4360/13/10/1596. Acesso em: 17 fev. 2026.

ILIE, N.; STARK, K. Curing behaviour of high-viscosity bulk-fill composites. **Journal of Dentistry**, v. 42, n. 8, p. 977–985, 2014. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24887360/. Acesso em: 17 fev.2026.

LIMA, R. B. W. et al. Depth of cure of bulk fill resin composites: a systematic review. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 30, n. 6, p. 492–501, 2018. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30375146/. Acesso em: 17 fev. 2026. MIKHAIL, S. S. et al. Optical characteristics of contemporary dental composite resin materials. **Journal of Dentistry**, v. 41, n. 9, p. 771–778, 2013. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23851132/. Acesso em: 17 fev.2026.

OLIVEIRA, V.; PEDROSA, S.; MEDEIROS, I. S. Post-cure heat treatments influence on mechanical and optical properties of resin composites. **Brazilian Dental Journal**, v. 32, n. 4, p. 96–105, 2021. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34787256/. Acesso em: 17 fev. 2026.

PISKIN, Y.; CENGIZ-YANARDAG, E. Micro-CT evaluation of marginal and internal adaptation of composite resins using different application techniques. **Scientific Reports**, v. 16, n. 1, 2025. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-025-31539-4. Acesso em: 17 fev. 2026.

PRICE, R. B.; FERRACANE, J. L.; SHORTALL, A. C. Light-curing units. **Journal of Dental Research**, v. 94, n. 9, p. 1179–1186, 2015. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0022034515594786. Acesso em: 17 fev. 2026. RUEGGEBERG, F. A. et al. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. **Brazilian Oral Research**, v. 31, n. suppl 1, 2017. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28902241/. Acesso em: 17 fev.2026.

SANTOS, D. C. M. et al. Clinical performance of resin composite restorations placed by dental students. **Brazilian Journal of Oral Sciences**, v. 21, 2022. Disponível em: https://www.scielo.br/j/bjos/a/Fnfb6wy5jRSGNvFcLK9rfFj/. Acesso em: 17 fev. 2026. SENGUPTA, A. et al. The clinical performance of bulk-fill versus the incremental layered

application of direct resin composite restorations: a systematic review. **Evidence-Based Dentistry**, v. 24, n. 3, p. 143, 2023. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10516750/. Acesso em: 17 fev. 2026.

SOARES, C. J. et al. Polymerization shrinkage stress of composite resins and resin cements – what do we need to know? **Brazilian Oral Research**, v. 31, n. suppl 1, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180683242017000500207. Acesso em: 17 fev. 2026.