



O nível da bateria de aparelhos fotoativadores LED sem fio podem influenciar nas propriedades da resina composta?

Klissia Romero Felizardo¹, Camilly Vitória Gozzi Bonfim¹, Emanuely Ahuendrya da Silva dos Santos¹, Isabelle Venciguerra Almeida¹, Ludmylla Aparecida Dias Cinquini¹, Murilo Baena Lopes²

REVISÃO DE LITERATURA

RESUMO

A longevidade clínica e o sucesso das restaurações em resina composta estão relacionados diretamente com o processo de polimerização. Apesar de esses aparelhos apresentarem grandes evoluções, algumas unidades LED ainda podem sofrer influência quanto ao nível de bateria no decorrer do atendimento clínico, afetando assim a irradiância e comprometendo as propriedades do material restaurador. Sendo assim, o objetivo deste estudo é avaliar por meio de uma revisão bibliográfica, se o nível de carga de aparelhos fotoativadores LED tem influência nas propriedades das resinas compostas. Para a seleção dos artigos, foi realizada uma busca nas bases de dados PubMed/Medline, Scielo e Scopus, através dos seguintes descritores: falha de restauração dentária (dental restoration failure), polimerização (polymerization), diodos emissores de luz (light emitting diode), resinas compostas (composite resins). Para a filtragem dos artigos, foi aplicado o sistema de formulário avançado "AND" e utilizado o método de busca manual na lista de referência dos artigos selecionados. Com base no levantamento bibliográfico realizado, o nível de bateria de diferentes aparelhos LED pode influenciar na irradiância e grau de conversão das resinas compostas, gerando falhas nas propriedades físicas e mecânicas. Portanto, deve-se sempre manter o aparelho fotoativador carregado.

Palavras-chave: Resinas Compostas, Polimerização, Falha de Restauração Dentária.

Can the battery level of wireless LED photoactivators influence the properties of composite resin?

ABSTRACT

The clinical longevity and success of composite resin restorations are directly related to the polymerization process. Although these devices show great evolutions, some LED units can still be influenced by the battery level during clinical care, thus affecting the irradiance and compromising the properties of the restorative material. The aim of this study is to evaluate, through a literature review, whether the level of charge of LED light curing devices influences the properties of composite resins. For the selection of articles, a search was performed in the PubMed/Medline, Scielo and Scopus databases, using the following descriptors: dental restoration failure, polymerization, light emitting diode and composite resins). To filter the articles, the advanced form system "AND" was applied and the manual search method in the reference list of selected articles was used. Based on the bibliographical survey carried out, the battery level of different LED fixtures can influence the irradiance and degree of conversion of composite resins, causing failures in physical and mechanical properties. Therefore, you should always keep the photo-activator device charged.

Keywords: Composite Resins, Polymerization, Dental Restoration Failure.

Dados da publicação: Artigo recebido em 15 de Maio e publicado em 05 de Julho de 2024.

DOI: <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n7p533-545>

Autor correspondente: Klissia Romero Felizardo

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





INTRODUÇÃO

A longevidade clínica de restaurações de resina composta está diretamente relacionada com o processo de polimerização, o qual é dependente da fonte de luz utilizada e das condições de fotoativação [20,29,32].

A luz emitida pelos aparelhos fotoativadores estimula o fotoiniciador presente nos compósitos e dá início a reação de polimerização [8,36]. A fotoativação usa a energia da luz para iniciar reações fotoquímicas e químicas em oligômeros orgânicos, para formar um novo material polimérico, pelo aumento fotoinduzido do peso molecular, resultando na conversão de monômeros em polímero [37].

O termo mais utilizado para indicar a luz emitida pelos aparelhos fotoativadores é a irradiância, unidade de medida em mW/cm^2 , que pode ser obtida dividindo a potência pela área da ponta da unidade fotoativadora. Esta unidade representa a luz que chega ao destino, e não necessariamente a luz que sai do aparelho [28]. Outro parâmetro também importante envolvido na fotopolimerização das resinas compostas é a densidade de energia, calculada como o produto da irradiância pelo tempo de exposição de luz [3].

Quando uma energia luminosa mais intensa é usada para ativar uma resina composta, mais fótons são capazes de alcançar os fotoiniciadores dentro da resina, que são ativados e elevados ao estado de excitação. Nesse estado, a molécula fotoiniciadora colide com uma amina terciária e um radical livre é formado. Este por sua vez, reage com o carbono para formar um carbono com dupla ligação ($C = C$) em uma molécula de monômero. A partir disso, a polimerização é iniciada. Assim, pode-se dizer que, quanto maior a intensidade de energia luminosa, mais rápida é a taxa de polimerização, resultando em um maior grau de conversão das moléculas de monômeros em polímeros, finalizando a polimerização [7].

O grau de conversão (GC) é um dos fatores mais importantes relacionados ao desempenho clínico das resinas compostas, e, quando elevado, pode estar associado a excelentes propriedades físicas, mecânicas e biológicas destes compósitos. Esta



propriedade pode ser influenciada pela irradiância e pelo espectro de luz emitido pelo aparelho fotoativador, que deve ser adequado com o fotoiniciador utilizado [24].

Embora a fotoativação de materiais resinosos pareça um procedimento simples e trivial, qualquer negligência acarretará prejuízo na polimerização do material [20,32].

Neste sentido devem ser considerados os seguintes fatores: a irradiância, o espectro de emissão de luz do equipamento, o tempo e o modo de exposição, o posicionamento da ponta condutora de luz e a condição dos componentes do aparelho emissor de luz [20,9,29,33].

Uma subpolimerização levará ao aumento da microinfiltração, à diminuição da microdureza, à sensibilidade pós-operatória e ao comprometimento estético; já uma polimerização com intensidade de luz alta e contínua causa altas taxas de contração de polimerização, levando a tensões na região de união dente/restauração, criando espaços que serão propícios à penetração de fluidos bucais e bactérias [21, 22] Pela praticidade, os aparelhos fotoativadores LED sem fio são mais utilizados do que os aparelhos que necessitam ficar ligados à corrente elétrica. Apesar da bateria de lítio ser encontrada na maioria dos aparelhos fotoativadores LED em odontologia, pouco se sabe sobre sua influência no desempenho dos materiais. Algumas unidades LED podem sofrer influência do nível de bateria, à medida que é descarregado, a irradiância diminui, comprometendo as propriedades dos materiais a serem utilizados [1,18].

Dessa forma, além da escolha criteriosa do material e da técnica restauradora correta, o emprego de aparelhos fotopolimerizadores com potência adequada colabora, de forma significativa, para o sucesso das restaurações.

Perante o exposto, o objetivo deste estudo é avaliar por meio de uma revisão bibliográfica, se o nível de carga de aparelhos fotoativadores LED tem influência nas propriedades das resinas compostas.

METODOLOGIA

Para a seleção dos artigos, foi realizada uma busca nas bases de dados PubMed/Medline, Scielo e Scopus, através dos seguintes descritores: falha de restauração dentária (dental restoration failure), polimerização (polymerization), diodos



emissores de luz (light emitting diode), resinas compostas (composite resins). Para a filtragem dos artigos, foi aplicado o sistema de formulário avançado “AND” e utilizado o método de busca manual na lista de referência dos artigos selecionados.

DISCUSSÃO

Com o avanço dos materiais restauradores e dos equipamentos fotoativadores, temos hoje disponíveis no mercado muitas opções de equipamentos: lâmpadas halógenas ou fontes convencionais (QTH), emissores de luz de diodo (LED) - (Light Emitting Diode), arco de plasma e laser de argônio, sendo as duas primeiras as mais utilizadas na odontologia [45]. Cada um tem características específicas, podendo levar a diferentes indicações de uso.

Tendo em vista as diversas características desses equipamentos, é importante o conhecimento do tipo de lâmpada utilizada, da ponteira do equipamento, da sua potência e irradiância, do seu espectro de emissão e homogeneidade do seu feixe de luz [28].

No início, os equipamentos emitiam luz ultravioleta, porém foram substituídos por equipamentos que utilizavam lâmpadas halógenas por causa de sua maior eficiência e por motivos de segurança. Estes, por sua vez, foram substituídos por equipamentos que utilizam diodos emissores de luz (LEDs), uma vez que apresentam maior duração da lâmpada, tamanho e peso reduzidos, além de não necessitarem de filtros [14].

Os fotopolimerizadores de quartzo-tungstênio-halogênio (QTH) ou lâmpadas halógenas geram luz por filamentos incandescentes de tungstênio que incide na geração de calor e emissão de luz visível branca em comprimentos de onda entre 400 a 500 nm. Essa faixa do espectro eletromagnético coincide com a faixa do fotoiniciador (canforoquinona). Eles apresentavam algumas vantagens como tecnologia de baixo custo, boa intensidade de potência e emissão de luz em um espectro mais amplo. Porém suas desvantagens é que como utilizavam lâmpadas, refletores e filtros redutores, estes, degradam-se com o tempo por trabalharem em alta temperatura, o calor determina um tempo de vida limitado de aproximadamente entre 40 e 100 horas, dependendo da

frequência e dos ciclos de “acende-apaga” aos quais é submetida e, por isso requerem mais manutenção [19].

Os aparelhos fotoativadores LED foram divididos em gerações. Os aparelhos de primeira geração já demonstravam características positivas comparadas aos demais aparelhos de luz halógena, como emitir mais luz azul no espectro de 450 a 490 nm, porém ainda não apresentavam vantagens em relação à irradiância e melhoria da polimerização dos compósitos [9,41].

Para substituir os aparelhos à base de LEDs de primeira geração e permitir a efetiva polimerização das restaurações de resinas compostas, houve aumento da intensidade de luz desses aparelhos [42], por outro lado, o espectro de emissão continuou o mesmo, entre 450 e 490 nm, ideal para a canforoquinona (CQ), fotoiniciador mais utilizado e que tem como pico de absorção 468 nm [15].

Por fim surgiram os aparelhos de terceira geração, que possuem além da luz azul, a violeta, emitindo comprimentos de onda abaixo de 420nm com o objetivo de alcançar iniciadores diferentes da canforoquinona [32,31]. Os aparelhos à base de LEDs de 2a e 3a gerações alcançam valores de intensidade de luz acima de 1000 mW/cm².

Assim, o LED parece apresentar a melhor tecnologia quando comparado com os outros tipos de fotopolimerizadores por várias razões: espectro mais estreito orientado para o pico máximo de absorção do fotoiniciador, baixo consumo de energia, que permite o uso de baterias, ergonomia e dispositivos de dissipação de calor [29].

A importância de que um aparelho fotopolimerizador promova uma polimerização adequada é a de garantir a qualidade e o sucesso de procedimentos cada vez mais rotineiros na clínica diária, como as restaurações estéticas diretas e indiretas em resina ou porcelana, e está diretamente ligada à quantidade e à qualidade da energia emitida pelo aparelho fotopolimerizador [25].

LaTorre *et al.* (2003) [17] descreveram que uma boa técnica de polimerização tem a intenção de aumentar as propriedades de dureza superficial, resistência à compressão, capacidade adesiva, e minimizar efeitos indesejados como contração de polimerização, presença de monômero residual e aumento da temperatura. E ainda, uma polimerização incompleta e a excessiva contração de polimerização podem deixar a restauração mais suscetível à variação da cor, e torná-la mais solúvel no ambiente oral possibilitando a microinfiltração marginal.



Conseqüentemente, o tempo de exposição, a intensidade ou densidade de potência de luz e o comprimento de onda são fatores que podem interferir na polimerização [33], principalmente no grau de conversão dos monômeros em polímeros.

Diversos autores situam que a intensidade da potência de luz (número de fótons emitidos por segundo pela fonte luminosa) bem como sua irradiância (intensidade de potência dividida pela área da ponta do aparelho fotopolimerizador) deve apresentar um valor mínimo de 300 mW/cm [4,33], uma vez que a espessura da camada de resina, a cor e sua opacidade condicionam uma maior ou menor facilidade, para que a luz atravesse o material restaurador. Em alguns casos, como quando cimentam-se restaurações estéticas adesivas indiretas ou executa-se uma restauração direta classe II, há também a necessidade de promover-se a fotopolimerização através da estrutura do dente, sendo primordial a utilização de um aparelho potente, cuja luz atravesse o esmalte e, também, pequenas espessuras de dentina, que é uma estrutura mais opaca [43].

Quanto maior a intensidade de luz, mais rápida é a taxa de polimerização. Adicionalmente, o aumento da taxa de polimerização, em consequência do aumento da intensidade, pode promover a redução do tamanho médio da cadeia polimérica formada e levar à diminuição da extensão de ligações cruzadas, afetando diretamente a resistência ao desgaste e à dureza [7].

Um outro fator relacionado à qualidade e ao sucesso de procedimentos que dependem de uma fonte luminosa é a densidade de energia dos aparelhos fotopolimerizadores. O radiante de exposição é calculado como o produto da irradiância e o tempo de irradiação fornecido pela unidade de luz. Quando uma energia de luz mais intensa é usada para ativar uma resina composta, mais fótons são capazes de alcançar os fotoiniciadores dentro da resina [5].

A falta de manutenção dos aparelhos fotopolimerizadores e a ausência de controle quanto à porcentagem de bateria ao longo do atendimento, faz com que a intensidade de luz e a densidade de energia diminuam e resulte em materiais com polimerização inadequada [20].

A taxa na qual um material fotoativado reage depende da densidade de potência e da distribuição espectral do fotopolimerizador e, ambos podem influenciar nas



propriedades físicas e mecânicas das resinas, quanto ao grau de conversão dos monômeros [40].

O grau de conversão da resina composta é o quanto de monômero foi convertido em polímero durante o processo químico que aconteceu. Ou seja, ele corresponde à medida da porcentagem de ligações duplas entre carbonos do monômero que se convertem em ligações simples decorrentes do processo de polimerização. No caso dos monômeros como o Bis-GMA ou UEDMA, há sempre um incompleto GC na fotopolimerização [39].

A limitada conversão encontrada em muitas cadeias poliméricas deve-se à mobilidade restrita das cadeias terminais dos radicais, dos metacrilatos pendentes e à ordenação dos monômeros em altas densidades de ligações cruzadas [13].

De acordo com os estudos de Moraes Porto & Almeida e Shimizu *et al.* [21,36], o uso de aparelho fotoativador com bateria parcialmente ou quase completamente descarregada ao longo do atendimento clínico pode resultar em queda na intensidade de luz e densidade de energia, conseqüentemente vai influenciar na conversão dos monômeros em polímeros, gerando uma polimerização incompleta e, portanto, insatisfatória do material restaurador, afetando suas propriedades físicas e mecânicas.

A maioria dos LEDs sem fio disponíveis no mercado possuem bateria de lítio, com excessão do VALO que utiliza pilhas de lítio de fosfato de ferro, o que proporciona uma duração maior da bateria, porém, podem se comportar de forma diferente de acordo com a marca comercial, conforme são descarregados [26,31].

O nível de bateria também pode influenciar na sorção e solubilidade da resina composta, ocasionando maior descoloração, degradação, menor resistência e longevidade [12,35].

No meio oral, as resinas compostas podem absorver água e outras substâncias provenientes da saliva, alimentos e bebidas que têm uma grande influência em sua degradação [10]. A sorção é influenciada pela polaridade da estrutura molecular e a presença de grupos hidroxila capazes de formar ligações de hidrogênio com a água [23]. Está associada à solubilidade, que consiste na liberação de produtos residuais, como monômeros não reagidos. Esses produtos alteram a microestrutura da matriz, criando espaços vazios propícios para a formação de microfaturas [2,44]. O fluido absorvido durante o processo de sorção fica confinado e incluso como parte da estrutura



polimérica do material [11,26], acarretando degradação e manchamento da resina composta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no levantamento bibliográfico realizado, o nível de bateria de diferentes aparelhos LED pode influenciar na irradiância e grau de conversão das resinas compostas, gerando falhas nas propriedades físicas e mecânicas. Portanto, deve-se sempre manter o aparelho fotoativador carregado.

REFERÊNCIAS

- 1- AlShaafi MM, Harlow JE, Price HL, Rueggeberg FA, LabrieD, AlQahtani MQ, etal. Emission Characteristics and Effect of Battery Drainin "Budget" Curing Lights. Operative dentistry.2016;41(4):397-408.<https://doi.org/10.2341/14-281-L>
- 2- Arregui M, Giner L, Ferrari M, Valles M, Mercade M. Six-month color change and water sorption of 9 new-generation flowable composites in 6 staining solutions. Brazilian oral research. 2016;30(1):e123. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2016.vol30.0123>
- 3- Borges FMGS, Rodrigues CC, Freitas SAA, Costa JF, Bauer J. Avaliação da intensidade de luz dos fotopolimerizadores utilizados no curso de Odontologia da Universidade Federal do Maranhão. Rev Ciênc Saúde. 2011 Jan-Jun;13(1):26-30.
- 4- Cook, W. D.; Standish, P. M. Cure of resin based restorative materials II. White light photopolymerized resins. Aust Dent J, v. 28, n. 5, p. 307-311, Oct. 1983.
- 5- da Silva EM, Poskus LT, & Guimaraes JG (2008) Influence of light-polymerization modes on the degree of conversion and mechanical properties of resin composites: A comparative analysis between a hybrid and a nanofilled composite. Operative Dentistry 33(3) 287-293.
- 6- de Oliveira DC, Rocha MG, Gatti A, Correr AB, Ferracane JL, Sinhoret MA. Effect of diferente photoinitiators and reducing agents on cure efficiency and color stability of resin-based composites using different LED wavelengths. Journal of dentistry.2015;43(12):1565-72.
- 7- Deb S, Sehmi H. A comparative study of the properties of dental resin composites polymerized with plasma halogen light. Dent Mat. 2003; 19(6): 517-22.
- 8- Dobrovolski M, Busato PMR, Mendonça MJ, Bosquirolli V, Santos RA, Camilotti V. Influência do tipo de ponteira condutora de luz na microdureza de uma resina composta. Polímeros. 2010; 20(no esp):327-30.



- 9- Dunn WJ, Bush AC. A comparison of polymerization by light-emitting diode and halogen-based light-curing units. *Journal of the American Dental Association*. 2002;133(3):335-41. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2002.0173>
- 10- Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2006;22(3):211-22. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.05.005>
- 11- Giannini M, Di Francesc Antônio M, Pacheco RR, Cidreira Boaro LC, Braga RR. Characterization of water sorption, solubility, and roughness of silorane- and methacrylatebased composite resins. *Operative dentistry*. 2014;39(3):264-72. <https://doi.org/10.2341/12-526-L>
- 12- Gonçalves L, Filho JD, Guimaraes JG, Poskus LT, Silva EM. Solubility, salivary sorption and degree of conversion of dimethacrylate-based polymeric matrixes. *Journal of biomedical materials research Part B, Applied biomaterials*. 2008;85(2):320-5. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30949>
- 13- Halvorson RH, Erickson RL, & Davidson CL (2003) An energy conversion relationship predictive of conversion profiles and depth of cure for resin-based composite *Operative Dentistry* 28(3) 307-314.
- 14- Jandt KD, Millis, RW. A brief history of LED photopolymerization. *Dent Mater*. 2013;29(6):605-17.
- 15- Jimenez-Planas A, Martin J, Abalos C, Llamas R. Developments in polymerization lamps. *Quintessence international*. 2008;39(2):e74-84.
- 16- Kutuk ZB, GurganS, Hickel R, Ilie N. Influence of extremely high irradiances on the micromechanical properties of a nanohybrid resin-based composite. *American journal of dentistry*.2017;30(1):9-15.
- 17- LaTorre G, Marigo L, Pascarella GA, Rumi G. Tecnologia light emitting diodes (LED) applicata alla fotopolimerizzazione delle resine composite. *Minerva Stomatol*. 2003;52(5):193-00.
- 18- Leprince JG, Palin WM, Hadis MA, Devaux J, Leloup G. Progress in dimethacrylate-based dental composite technology and curing efficiency. *Dent Mater*. 2013; 29(2):139-56.
- 19- Machado, C.T.; Santos, A.J.S.; Seabra, B.G.M.; Hyppolito, M.P.; Lanverly, B.C.S. Novos tipos de fontes fotopolimerizadoras existentes no mercado: conceitos atuais. *Odontologia Clín.- - Científ.*, 2007; 6(3):207-211.
- 20- Marson FC, Mattos R, Sensi LG. Avaliação das condições de uso dos fotopolimerizadores. *Revista Dentística on line*. 2010; 9-19.
- 21- Moraes Porto ICC, Almeida AGA. Avaliação a curto e médio prazo da sorção e da solubilidade de resinas compostas à base de metacrilato e de silorano em saliva artificial. *Rev. odontol. UNESP* 42 (3), Jun 2013.
- 22- Mori M, Shimokawa CAK, Carneiro PMA, Lobo TRS, Turbino ML. Influência do método de fotoativação na dureza de uma resina composta. *Clin Lab Res Dent*. 2014 Jul-Set;20(3):131-6. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2357-8041.clrd.2014.77662>.



- 23- Mortier E, Gerdolle DA, Jacquot B, Panighi MM. Importance of water sorption and solubility studies for couple bonding agent--resin-based filling material. *Operative dentistry*. 2004;29(6):669-76.
- 24- Pahlevan A, Tabatabaei MH, Arami S, Valizadeh S. Effect of LED and Argon Laser on Degree of Conversion and Temperature Rise of Hybrid and Low Shrinkage Composite Resins. *The open dentistry journal*. 2016;10(538-45).
- 25- Parson, G. J.; Longman, C. M. Water sorption and solubility of resin-based materials following inadequate polymerization by a visible light-curing system. *J Oral Rehabil*, v. 16, p. 57-61, Jan. 1989.
- 26- Pereira AG, Raposo L, Teixeira D, Gonzaga R, Cardoso IO, Soares CJ, et al. Influence of Battery Level of a Cordless LED Unit on the Properties of a Nanofilled Composite Resin. *Operative dentistry*. 2016;41(4):409-16. <https://doi.org/10.2341/15-200-L>
- 28- Price RB, Ferracane JL, Shortall AC. Light-Curing Units: A Review of What We Need to Know. *J Dent Res*. 2015; 94(9):1179-86.
- 29- Price RB, Labrie D, Whalen JM, Felix CM. Effect of distance on irradiance and beam homogeneity from 4 light-emitting diode curing units. *Journal*. 2011;77(b9).
- 30- Price RB, Shortall AC, Palin WM. Contemporary issues in light curing. *Oper Dent*. 2014; 39(1):4-14.
- 31- Price RBT. Light Curing in Dentistry. *Dental clinics of North America*. 2017;61(4):751-78. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2017.06.008>
- 32- Rueggeberg FA. State of the art: dental photocuring - a review. *Dent Mater*. 2011; 27(1):39-52.
- 33- Rueggeberg, FA. Precision of hand-held dental radiometers. *Quintessence Int*, v. 24, n. 6, p. 391-396, June 1993.
- 34- Santos APD, Montandon AAB, Chávez OFM. Avaliação dos fotopolimerizadores utilizados por clínicos gerais de Araraquara – SP. 20a Reunião da Sociedade Brasileira de Pesquisa Odontológica; 2003 Ago 30-Set 3; Águas de Lindóia, SP. São Paulo: Serviço de comunicação Odontológica, Faculdade de Odontologia USP - SP. Poster.
- 35- Schneider LF, Pfeifer CS, Consani S, Pahl SA, Ferracane JL. Influence of photoinitiator type on the rate of polymerization, degree of conversion, hardness and yellowing of dental resin composites. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2008;24(9):1169-77. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.01.007>
- 36- Shimizu Y, Tsujimoto AN, Furuichi T, Suzuki T, Tsubota K, Miyazaki M, & Platt JA (2015) Influence of light intensity on surface free energy and dentin bond strength of core build-up resins *Operative Dentistry* 40(1) 87-95. DOI 10. 2341/13-283-L.
- 37- Shimokawa C, Sullivan B, Turbino ML, Soares CJ, Price RB. Influence of Emission Spectrum and Irradiance on Light Curing of Resin-Based Composites. *Operative dentistry*. 2017;42(5):537-47.



- 38- Shin DH, Rawls HR. Degree of conversion and color stability of the light curing resin with new photoinitiator systems. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2009;25(8):1030-8.
- 39- Silikas N, Eliades G, Watts DC. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater*. 2000;16(4):292-6.
- 40- St. Georges, AJ et al. Irradiance effects on the mechanical properties of universal hybrid and flowable hybrid resin composites. *Dent Mater.*, Kindlington, v.19, n.5, p.406-413, July 2003.
- 41- Stahl F, Ashworth SH, Jandt KD, Mills RW. Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: flexural properties and polymerisation potential. *Biomaterials*. 2000;21(13):1379-85. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(00\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(00)00029-6)
- 42- Stewardson, D.A.; Shortall, A.C.C.; Harrington, E.; Lumley, P.J. Thermal changes and cure depths associated with a high intensity light activation unit. *J. Dent.*, 2004; 32(8):643-651.
- 43- Turbino, M. L. et al.. Photopolymerized resins: surface hardness variation in relation to time of polymerization and setting. *Braz Dent J*, v. 3, n. 2, p. 69-120,1992.
- 44- Wei YJ, Silikas N, Zhang ZT, Watts DC. Hygroscopic dimensional changes of self-adhering and new resin-matrix composites during water sorption/desorption cycles. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials*. 2011;27(3):259-66. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.015>
- 45- Wendl B, Droschi H, Kem W (2004). A comparative study of polymerization lamps to determine the degree of cure of composites using infrared spectroscopy. *Eur J Orthod* 26(5):545-551.