

Igor Oliveiros Cardoso

**Influência de diferentes aparelhos
fotoativadores LED sem fio e o nível de
bateria nas propriedades da resina
composta**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Área de Concentração: Clínica Odontológica Integrada

Uberlândia, 2018

Igor Oliveiros Cardoso

**Influência de diferentes aparelhos
fotoativadores LED sem fio e o nível de
bateria nas propriedades da resina
composta**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Vinícius Soares

Banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo Vinícius Soares

Prof. Dr. Leandro Augusto Hilgert

Prof. Dr. Bruno Rodrigues Reis

Uberlândia, 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C268i
2018

Cardoso, Igor Oliveiros, 1993
Influência de diferentes aparelhos fotoativares LED sem fio e o nível
de bateria nas propriedades da resina composta / Igor Oliveiros Cardoso.
- 2018.
36 f. : il.

Orientador: Paulo Vinícius Soares.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Odontologia.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.113>
Inclui bibliografia.

1. Odontologia - Teses. 2. Resinas compostas (Odontologia) - Teses.
3. Diodos emissores de luz - Teses. 4. Restauração (Odontologia) -
Teses. I. Soares, Paulo Vinícius. II. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Odontologia. III. Título.

CDU: 616.314

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA



Ata da defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO junto ao Programa de Pós-graduação em Odontologia, Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia.

Defesa de: Dissertação de Mestrado Acadêmico nº324—COPOD

Data: 06/02/2018

Discente: IGOR OLIVEIROS CARDOSO Matrícula: 11612ODO003

Título do Trabalho: **Influência de diferentes aparelhos fotoativadores LED sem fio e o nível de bateria nas propriedades da resina composta**

Área de concentração: Clínica Odontológica Integrada.

Linha de pesquisa: Biomecânica aplicada à odontologia

As oito horas e trinta minutos do dia seis de fevereiro do ano de 2018 no Anfiteatro do Bloco 4L, Campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em dezembro de 2017, assim composta: Professores Doutores: Bruno Rodrigues Reis (ESTES/UFU); Leandro Augusto Hilgert (UnB); e Paulo Vinícius Soares (UFU) orientador(a) do(a) candidato(a) **Igor Oliveiros Cardoso**

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa Dr. Paulo Vinícius Soares apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de argüição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor (a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos (às) examinadores (as), que passaram a argüir o (a) candidato (a). Após a argüição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais.

Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o (a) candidato(a) ~~A~~provado(a).

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos às 11 horas e 30 minutos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

Prof. Dr. Bruno Rodrigues Reis (ESTES/UFU)

Prof. Dr. Leandro Augusto Hilgert (UnB)

Prof. Dr. Paulo Vinícius Soares – UFU
Orientador (a)

Dedicatória

Aos meus pais, **Fábio e Márcia**, por não medirem esforços para tornar esta conquista possível. Sempre incentivaram a educação e os estudos e este é um reflexo de todo o esforço que vocês fizeram durante a vida para oferecer aos seus filhos as oportunidades que não tiveram. Apenas um parágrafo em uma simples dedicatória não representa nada do quanto vocês representam para mim. Amo vocês!

Aos meus irmãos, **Iuri e Ian**, que nossa parceria e amizade apenas se fortaleçam com o tempo. Aprendi com vocês a valorizar cada momento em que estamos juntos!

A minha namorada, **Andressa**, que sempre esteve junto neste processo, sendo compreensiva e entendendo as minhas ausências. Incentivadora para sempre seguir em frente mesmo em momentos de dificuldade. Foi meu maior apoio e caminhou lado a lado durante o mestrado. Obrigado por tudo! Sua generosidade é algo para ser admirado e espelhado.

Agradecimento

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Paulo Vinicius Soares**, obrigado por todos os ensinamentos, oportunidades e conselhos, tanto na vida profissional quanto pessoal. Levo neste período em que trabalhamos juntos muito aprendizado que vai além do conhecimento científico, exemplo de atitudes e gestos que vou lembrar pra sempre e tentar seguir. Orientador, facilitador e torce por seus orientados, que continue fazendo o bem para os seus orientados que estão por vir que ainda colherá muitos frutos.

Ao amigo, doutorando e professor da ESTES-UFU, **Alexandre Coelho Machado**, agradeço também pela ajuda na execução do trabalho. Mas muito mais importante que isso agradeço por todo o conhecimento que me foi repassado, pela amizade, pelo crescimento pessoal incrível que eu tive convivendo com você, vendo o quão humano uma pessoa pode ser. Ajudar sem querer nada em troca, assim que se faz uma corrente de boas atitudes que alguém começou, você está no meio dela, e com certeza eu continuarei.

A todo o grupo de pesquisa e extensão **LCNC-HD** que foram fundamentais para a minha formação, com um sempre ajudando o outro quando necessário. Com certeza seria muito mais difícil à caminhada sem vocês. Ao professor Dr. **Bruno Rodrigues Reis**, que tive o privilégio de conhecer um pouco mais e sempre me ajudou e incentivou durante o mestrado, por todo o apoio e conhecimento que me foi dado neste período. Em especial as minhas colegas de mestrado, **Paola e Alexia**, que passamos mais tempos juntas, três pessoas completamente diferentes que se completaram durante o mestrado, espero que esta parceria e amizade continue.

Ao professor **Dr. Alexandre Marletta** e ao doutorando **Fernando Costa Basílio** do Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia por abrirem as portas e nos receberam muito bem durante a realização de parte do trabalho.

A todos os meus **amigos e amigas**, fora da faculdade que fizeram os momentos de lazer e de dificuldades pessoais mais fáceis. Por sempre ter alguém para quem recorrer quando foi necessário. A vida não é só odontologia e são vocês quem me dão forças para todos os desafios.

A todos os **familiares** que sempre torceram e de alguma forma colaboraram com esta conquista. Muito Obrigado!!

A minha **turma de mestrado** hoje posso dizer que fiz amizades, e que foi uma satisfação enorme ter passado estes 2 anos com vocês.

A todos **professores** do programa de pós-graduação, obrigada por todos os conhecimentos transmitidos durante este período, pelo apoio e conselhos. Cada um com suas particularidades e qualidades que contribuíram para minha formação.

Aos **funcionários e servidores** que são essências para que todo o sistema funcione.

Ao **Programa de Pós-graduação da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia**, pela oportunidade de realizar o mestrado e poder conviver com professores que fizeram toda diferença na minha formação profissional. Fazer parte deste Programa sempre me deixou extremamente orgulhoso e me proporcionou experiências e momentos inesquecíveis.

Ao **CNPq e a CAPES**, pelo financiamento por meio da bolsa de

estudos e suporte que permitiu a realização do meu mestrado.

Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena
acreditar no sonho que se tem
ou que os seus planos nunca vão dar certo
ou que você nunca vai ser alguém...

Renato Russo

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO	5
2. PROPOSIÇÃO	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 Delineamento experimental	12
3.2 Mensuração da irradiância	12
3.3 Preparo das amostras	14
3.4 Análise do grau de conversão	14
3.5 Análise da sorção e solubilidade	15
3.6 Análise da resistência a tração diametral	16
3.7 Análise estatística	17
4. RESULTADOS	18
5. DISCUSSÃO	25
6. CONCLUSÃO	31
7. REFERÊNCIAS	33

RESUMO

RESUMO

Aparelhos fotoativadores podem apresentar diferentes valores de irradiação e varia-los à medida que é descarregado. O objetivo deste estudo foi avaliar se diferentes diodos emissores de luz (LED) e os níveis de bateria podem influenciar nas propriedades da resina composta. Inicialmente, a irradiação e a quantidade de ciclos, até descarregar completamente a bateria, de cada aparelho foram checadas. Após avaliar os 5 LEDs; Optlight Color (Gnatus), Bluephase (Ivoclair), Valo (Ultadent), Radii Plus (SDI) e Radii Expert (SDI), os discos de resina (Aura, DC1, SDI) foram preparados variando o nível de bateria dos aparelhos: 100%, 50% e 10% da carga da bateria. O grau de conversão, resistência à tração diametral, sorção e solubilidade foram testados. Os dados foram checados para homocedasticidade e submetidos à análise de dois fatores e análise de três fatores a depender do teste realizado, logo em seguida foi realizado o teste de Tukey com nível de significância de 95% ($\alpha < 0.05$). Correlação entre a irradiação e o número de ciclos foi verificada pelo teste de correlação de Pearson. Houve correlação positiva entre os ciclos e a irradiação. . O Valo e o Radii expert foram os únicos que não sofreram influência do nível de bateria em nenhum teste. Optlight Color apresentou resultados superiores ou iguais aos outros LEDs em quase todas as categorias testadas. Sendo assim, diferentes aparelhos fotoativadores em diferentes níveis de bateria podem influenciar no grau de conversão, sorção e solubilidade e resistência à tração diametral da resina composta.

Palavras chaves: Odontologia, resinas compostas, diodos emissores de luz, restauração

ABSTRACT

ABSTRACT

Light cure unit (LCU) may exhibit different and varying irradiance values as it is discharged. The aim of this study was to evaluate the influence of different light emitting diodes (LEDs) and battery level on the properties of composite resins. First, the irradiance and the number of cycles of each device were checked, until the battery was completely discharged. After evaluating the 5 LEDs, being Optlight Color (Gnatus), Bluephase (Ivoclair), Valo (Ultadent), Radii Plus (SDI) and Radii Expert (SDI), resin disks (Aura, DC1, SDI) were prepared by varying the battery level of the devices: high level (100%), medium level (50%) and low level (10%). The degree of conversion, diametral tensile strength, sorption and solubility were tested. Data were checked for homoscedasticity and submitted to two-way ANOVA and three-way ANOVA depending on the test performed, followed by the Tukey test with significance level of 95% ($\alpha < 0.05$). Correlations between the irradiance and number of cycles were checked by Pearson correlation test. There was a positive correlation between irradiance and cycles of light curing. Valo and Radii Expert was the only unit that was not influenced by the battery level in any test. Optlight Color presented better results than other LEDs, or even equal, in almost all categories tested. Thus, different LED units at different battery levels can influence the degree of conversion, diametral tensile strength, sorption and solubility of the composite resin.

Keywords: Dentistry, composite resin, light emitting diode, restoration.

INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

1. INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

As resinas compostas surgiram a mais de 50 anos como opção de material restaurador na odontologia e atualmente são amplamente utilizadas na rotina clínica, sendo indicadas para regiões anteriores e posteriores (Ferracane, 2011). Esses materiais se destacaram por serem biocompatíveis, possuírem boas propriedades mecânicas e estabilidade de cor (Sadowsky, 2006). A evolução foi notória com o passar dos anos, aumentando a resistência, lisura superficial, capacidade de manter o polimento por mais tempo e diversas outras propriedades, devido a modificações que ocorreram em sua constituição, tanto nas cargas e matriz orgânica quanto na forma de ativação (Terry, 2004; Bittencourt et al., 2014). A ativação por luz foi um marco para a odontologia adesiva, facilitando a prática clínica, com a redução do tempo de trabalho e melhor prognóstico das restaurações (Shortall et al., 2016).

Para a ativação das substâncias iniciadoras, diferentes aparelhos fotoativadores podem ser utilizados, dentre eles a luz halógena de quartzo-tungstênio, arco de plasma, laser de argônio e o diodo emissor de luz (LED). O espectro de luz emitido por estes aparelhos deve ser correspondente ao do estímulo do fotoiniciador presente no material restaurador (de Oliveira et al., 2015). Neste contexto, as unidades LED passaram a dominar o mercado e atualmente são os aparelhos mais utilizados na prática clínica moderna (Jandt & Mills, 2013).

Os aparelhos fotoativadores LED podem ser 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 490nm, porém ainda não apresentavam vantagens em relação à irradiância e melhoria da polimerização dos compósitos (Stahl et al., 2000; Dunn & Bush, 2002). Em seguida surgiram os aparelhos de segunda geração, no qual foram melhoradas a potência do LED e o espectro de emissão continuou o mesmo, entre 450 e 490nm, ideal para a canforoquinona (CQ), fotoiniciador mais utilizado e que tem como pico de absorção 468nm

(Jimenez-Planas et al., 2008). 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 CQ (Rueggeberg, 2011; Price, 2017).

A luz emitida pelos aparelhos fotoativadores estimula o fotoiniciador presente nos compósitos e da início a reação de polimerização (de Oliveira et al., 2015; Shimokawa et al., 2017). 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 (Shin & Rawls, 2009). 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. (Price et al., 2011).

Para as restaurações a base de resina composta atingir propriedades mecânicas e estéticas satisfatórias é necessário realizar uma adequada fotoativação (Kassim et al., 2013). Este é um requisito básico para alcançar um resultado previsível em longo prazo (Fan et al., 2002; Bayne, 2012). 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 (Pahlevan et al., 2016).

Mesmo após a fotoativação, a resina composta apresenta instabilidade e pode interagir com o meio em que está presente. Na cavidade oral, esses materiais são capazes de absorver e liberar água e substâncias químicas. Estes fenômenos são denominados sorção e solubilidade, e podem ser precursores de vários processos físicos e químicos que levam a efeitos

deletérios sobre a estrutura, podendo causar prejuízos na função e na longevidade das restaurações (Sideridou et al., 2003; Ferracane, 2006).

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 (AlShaafi et al., 2016; Kutuk et al., 2017).

Neste contexto, esta pesquisa propõe-se analisar a influência de diferentes aparelhos fotoativadores LED sem fio e diferentes níveis de bateria nas propriedades da resina composta. A hipótese nula testada neste estudo foi que os diferentes aparelhos fotoativadores LED sem fio e os diferentes níveis de bateria não influenciariam o desempenho dos equipamentos e as propriedades da resina composta.

PROPOSIÇÃO

2.PROPOSIÇÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar como diferentes aparelhos fotoativadores LED sem fio e diferentes níveis de bateria (100%, 50% e 10%) afetam a irradiância e sua influência no grau de conversão, resistência à tração diametral, sorção e solubilidade de uma resina composta nanohíbrida.

MATERIAIS E MÉTODOS

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento experimental

Delineamento 1

Unidade experimental: aparelhos fotoativadores LED (Radii Expert, Radii Plus, Bluephase N, Valo, Optilight Color).

Variável Resposta: Potência, Irradiância, número de ciclos

Fator em estudo: Aparelho fotoativador LED, nível de bateria.

Método de análise: medidor de potência, paquímetro digital.

Amostragem: n=3

Delineamento 2

Unidade experimental: Resina Aura (SDI, Bayswater, Vistoria, Austrália).

Variável Resposta: Grau de conversão, sorção e solubilidade, resistência à tração diametral.

Fator em estudo: Aparelho fotoativador LED, nível de bateria.

Método de análise: Espectroscopia de Transmissão Infravermelha Transformada de Fourier (FTIR), Teste de Sorção e Solubilidade, teste na Máquina de ensaio mecânico universal (DL 2000, EMIC, São José dos Pinhais, Brasil).

Amostragem: n=10

3.2 Mensuração da irradiância

Para determinar a quantidade de ciclos correspondente a cada nível de bateria, cinco aparelhos novos LED sem fio: Radii Expert (RE) (SDI, Bayswater, Vistoria, Austrália), Radii Plus (RP) (SDI, Bayswater, Vistoria, Austrália), Bluephase N (BL) (Ivoclair Vivadent, Schaan, Principado de Liechtenstein), Valo (VL) (Ultradent, Salt Lake City, Utah, EUA), Optilight Color (OP) (GNATUS, Ribeirão Preto, SP), foram totalmente carregados conforme recomendado pelo fabricante e utilizados até serem completamente descarregados. O número máximo de ciclos que poderia ser completado com as baterias totalmente carregadas (100%) foi determinado e, a partir deste número, foi determinada a quantidade de ciclos correspondente aos níveis de bateria de 50% e 10% (AlShaafi et al., 2016; Pereira et al., 2016).

A potência (mW) das unidades LED sem fio foi verificada individualmente para todos os ciclos de luz utilizando o medidor de potência (Nova, Ophir Spiricon, Logan, UT, EUA) (Figura 1A), e foi então dividido pela área da ponta (cm^2) medida por um paquímetro digital (CD6 CS, Mitutoyo, Kanagawa, Japão), para obter a irradiância (mW/cm^2) (Shimokawa et al., 2016) (Figura 1B).

A irradiância em função da descarga da bateria foi medida em tempo real, a potência de saída de cada LED foi caracterizada por um ciclo completo de descarga de bateria. Após cada ciclo, aguardava-se 30s para permitir que os aparelhos esfriassem. O operador teve um descanso de 15 minutos quando completado 50 ciclos, 100 ciclos, e após isso a cada 50 conforme necessidade dos aparelhos (AlShaafi et al., 2016). Foi feito a mensuração da irradiância e da quantidade de ciclos para 3 aparelhos de cada marca, após verificar homogeneidade de resultados foi selecionado um único aparelho para a confecção das amostras.



Figura 1 – Procedimentos para mensuração da irradiância. **A** – LED posicionado para verificar a potência utilizando o medidor de potência (Nova, Ophir Spiricon, Logan, UT, EUA). **B** – LED posicionado para a mensuração do diâmetro da ponta do LED através de um paquímetro digital (CD6 CS, Mitutoyo, Kanagawa, Japão).

3.3 Preparo das amostras

Amostras em resina composta nanohíbrida (Aura, cor DC1, SDI, Bayswater, Vistoria, Australia) foram preparadas em uma matriz de aço inoxidável (5 mm de diâmetro por 2 mm de altura) para todos os testes. Os discos eram fotoativados através de uma matriz de poliéster por 20s de acordo com os fatores em estudo (tipo de aparelho: Radii Expert, Radii Plus, Bluephase N, Valo, Optlight Color; e nível de baterial: 100%, 50% e 10%).

3.4 Grau de conversão

O grau de conversão (GC) dos espécimes de resina composta ($n = 10$) foi acessado numa unidade de Espectroscópio de Transmissão Transformada de Fourier (FTIR) (Tensor 27, Bruker, Ettlingen, Germany) (Figura 2). Foi determinado o número de ligações duplas de carbono remanecentes. As

ligações duplas de carbono não convertidas remanescentes foram calculadas comparando a porcentagem de alifática C = C (vinil) (1638 cm⁻¹) e aromática C = C (1608 cm⁻¹) entre as amostras polimerizadas e não polimerizadas. Os espectros dos espécimes polimerizados e não polimerizados foram obtidos usando 32 varreduras a uma resolução de 4 cm⁻¹, dentro do intervalo de 1000 a 6000 cm⁻¹. Os espectros foram subtraídos dos espectros de fundo usando o software (OMNIC 6.1, Nicolet Instrument Corp, Madison, WI, USA). Os espectros adquiridos foram ampliados e analisados na região de interesse de 1560 a 1680 cm⁻¹. As leituras foram realizadas no centro e superfície inferior das amostras. Os dados coletados serão abertos no programa e os modos vibracionais entre 1560 cm⁻¹ e 1680 cm⁻¹ foram selecionados. O cálculo do GC de cada amostra de resina composta será realizado a partir da área dos picos localizados em 1638 cm⁻¹ e 1608 cm⁻¹, que correspondem, respectivamente, ao modo vibracional das bandas alifáticas e aromáticas. Os valores do GC em porcentagem foram calculados por meio da equação (Ruyter & Svendsen, 1978):

$$GC (\%) = [1 - \frac{1638 \text{ cm}^{-1} \text{ polimerizada}}{1608 \text{ cm}^{-1} \text{ polimerizada}}] \times 100$$

$$1638 \text{ cm}^{-1} \text{ não polimerizada} / 1608 \text{ cm}^{-1} \text{ não polimerizada}$$

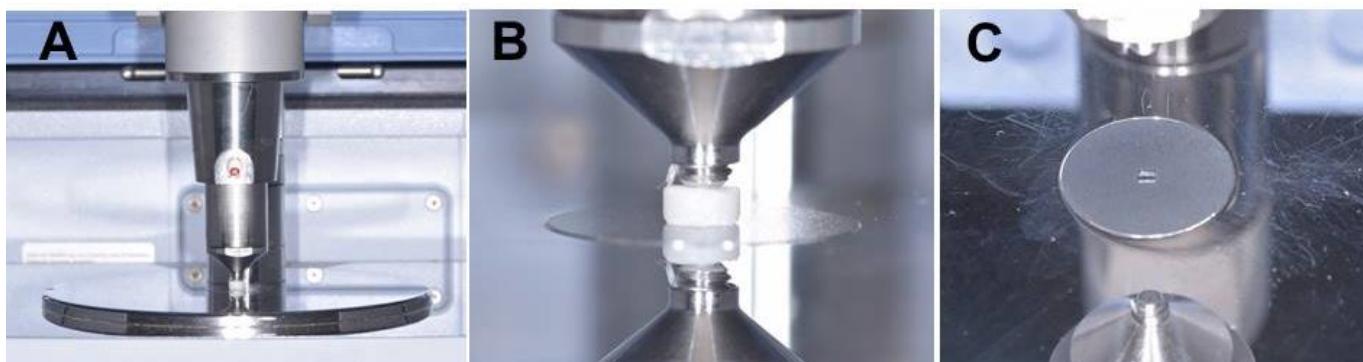


Figura 2- Espectroscópio de Transmissão Infravermelha Transformada de Fourier (FTIR). **A** - Amostra posicionada para leitura. **B** - Vista aproximada da amostra posicionada para leitura. **C** - Cristal onde a amostra é posicionada.

3.5 Sorção e solubilidade

A sorção e a solubilidade da resina composta foram testadas para cada grupo experimental ($n=10$). Após a confecção, as amostras foram armazenadas em um dessecador com sílica gel e mantidas em uma estufa a 37°C por 24 horas. Em seguida, os espécimes foram pesados em uma balança analítica com 0,01 mg de precisão (AG200, Gehaka, São Paulo, Brasil) em intervalos de 24 horas até obter um peso constante, que foi considerado m_1 (Figura 3). Após os procedimentos de pesagem, as amostras foram imersas em meio de armazenamento (saliva artificial) e mantidos em uma estufa a 37°C. Após 7 dias, os espécimes foram removidos do armazenamento, o excesso de líquido foi seco com papéis absorventes e foram pesados para obter m_2 . Em seguida, as amostras foram levadas ao dessecador com sílica gel a 37°C para eliminar a saliva absorvida e foram pesados diariamente até atingir massa constante, considerada a m_3 . Os maiores e menores diâmetros e a espessura dos espécimes foram medidos em quatro pontos utilizando um paquímetro digital (CD6 CS, Mitutoyo, Kanagawa, Japan) após a secagem final em m_1 . Estas medidas foram utilizadas para obter o volume (V) de cada amostra (mm^3) e para calcular as taxas de sorção (Sor) e solubilidade (Sol), de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\text{Sor} = \frac{m_2 - m_3}{V} \quad \text{Sol} = \frac{m_1 - m_3}{V}$$

onde, m_1 é a massa (μg) da amostra antes da imersão em saliva, m_2 é a massa (μg) da amostra 7 dias após a imersão em saliva, m_3 é a massa (μg) da amostra após secar até atingir massa constante, e V é o volume (mm^3) (Almeida et al., 2010).



Figura 3 - Amostra de resina posicionada no centro da balança de precisão (AG200 – GEHAKA, São Paulo, SP, Brasil).

3.6 Resistência à tração diametral

Foi realizado o teste de resistência à tração diametral nos espécimes anteriormente utilizados para obter o grau de conversão ($n = 10$) e a sorção e solubilidade ($n=10$), na máquina de ensaios mecânicos (DL 2000, EMIC, São José dos Pinhais, Brazil) (Figura 4). As amostras foram posicionadas verticalmente na máquina de teste entre uma ponta plana de aço inoxidável e a base. Carga de compressão foi aplicada verticalmente na porção lateral do cilindro a uma velocidade de 0,5 mm / min, produzindo tensões de tração

perpendiculares ao plano vertical que passa pelo centro da amostra até a falha. Após cada teste de compressão, a carga de fratura (F) foi registrada em Newtons (N) e a força de tração diametral (σ_t) foi calculada (MPa), seguindo a fórmula:

$$\sigma_t = 2F / \pi dh$$

onde, d corresponde ao diâmetro (5 mm), h é altura (2 mm) das amostras, e a constante π é 3,1416.

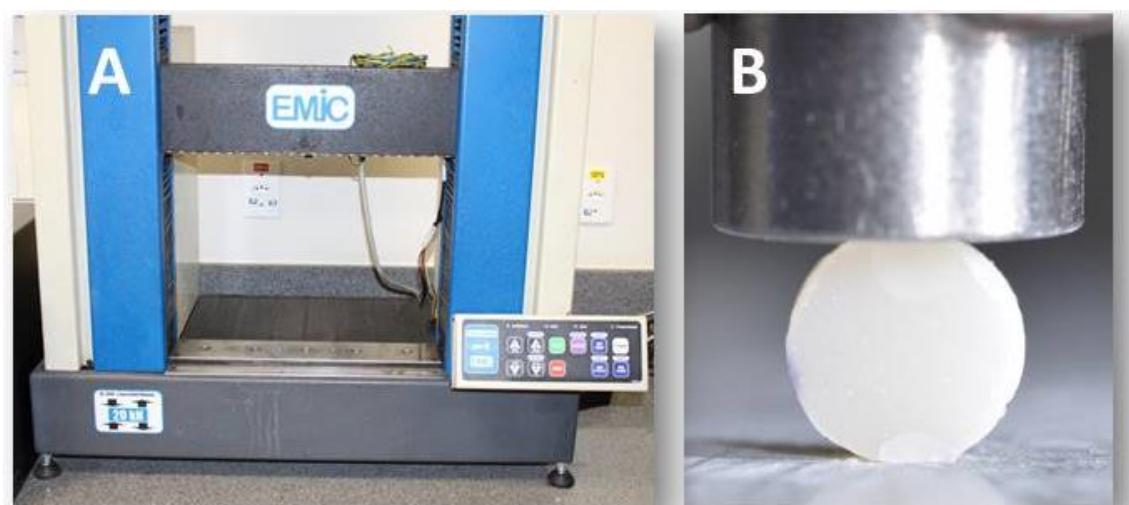


Figura 4 - Máquina de testes mecânicos (machine (DL 2000, EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brazil). **A** - Vista frontal da maquina. **B** - amostra posicionada durante o teste.

3.7 Análise estatística

Os dados foram checados para homocedasticidade e submetidos para o teste de análise de variância: ANOVA three way para resistência à tração diametral e ANOVA two way para grau de conversão, sorção e solubilidade. Logo em seguida foram submetidos ao teste de Tukey. As correlações entre irradiação e ciclo de fotoativação foram verificadas pelo teste de correlação de Pearson. Os testes foram conduzidos com o nível de significância de 95%, utilizando o programa estatístico SigmaPlot (SigmaPlot 12.0, Systat Software, San, Jose, CA, USA)

RESULTADOS

4. RESULTADOS

A potência e a irradiância de cada aparelho estão expostas na Tabela 1. A correlação entre irradiância os ciclos de fotoativação estão na Figura 5. Houve correlação positiva entre a irradiância e os ciclos. Os resultados para grau de conversão, sorção, solubilidade e resistência a tração diametral estão nas Tabelas 2,3,4 e 5 respectivamente.

Tabela 1. Diâmetro da ponta, área da ponta, potência (mW) e irradiância (mW/cm^2), calculada pela divisão da potência pela área dos LEDs.

Nível de Bateria	Bluephase $\varnothing = 0.93 \text{ cm}$	Optlight Color $\varnothing = 0.70 \text{ cm}$	Raddi Plus $\varnothing = 0.60 \text{ cm}$	Valo $\varnothing = 0.95 \text{ cm}$	Radii Expert $\varnothing = 0.78$
Área da ponta (cm^2)	0.67	0.38	0.28	0.7	0.48
Potência (mW)					
100%	1237	1054	490	1103	769
50%	1182	644	487	1054	755
10%	1159	528	485	1054	744
Irradiância (mW/cm^2)					
100%	1846	2773	1750	1575	1611
50%	1749	1694	1739	1505	1581
10%	1731	1381	1732	1505	1557

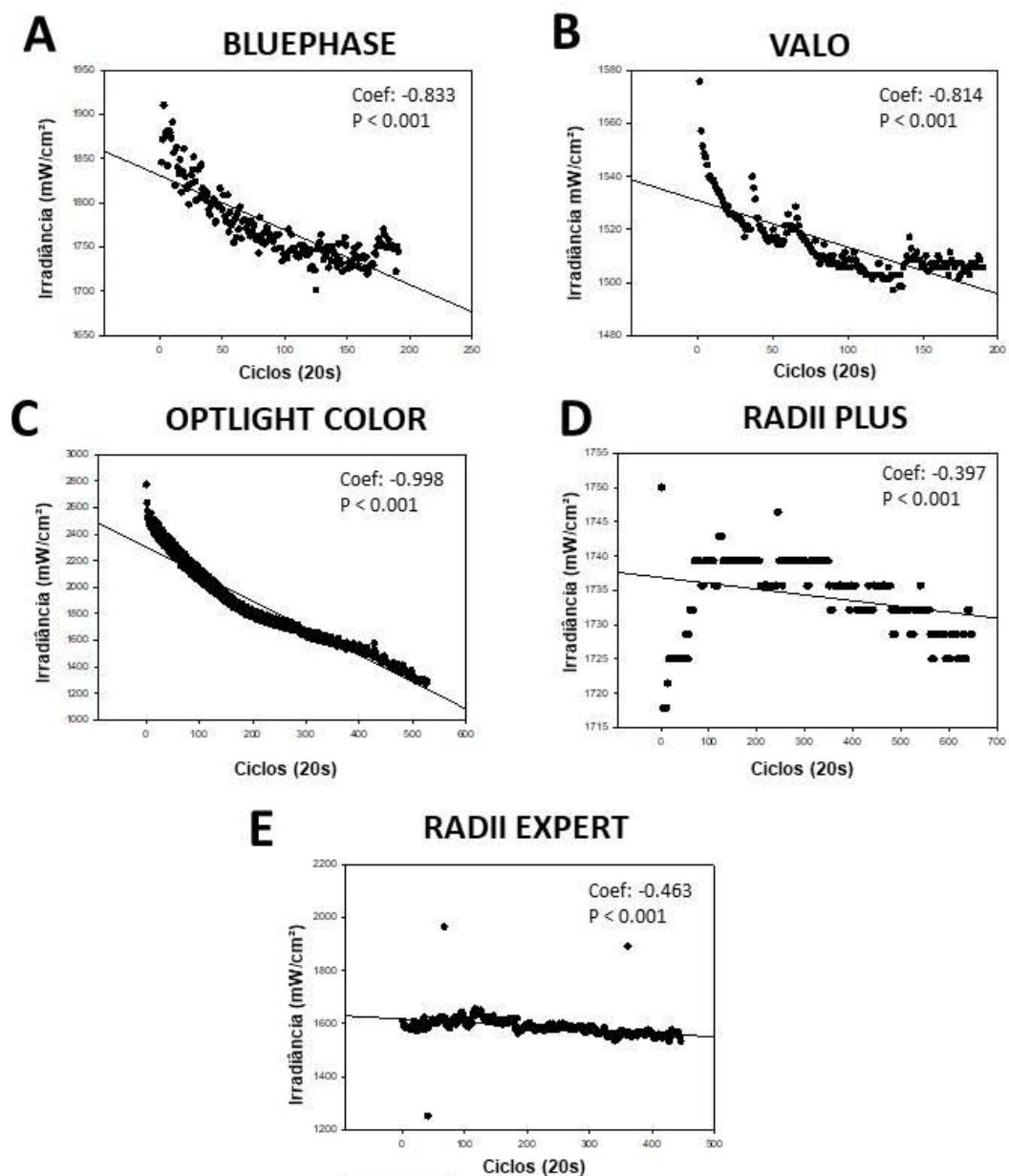


Figura 5 – Gráficos dos resultados de correlação entre irradiância (mW/cm²) e ciclos (20s) dos LEDs: A – Bluephase N (BL), B – Valo (VL), C - Optlight Color (OP), D - Radii Plus (RP) e E – Radii Expert (RE).

Na análise do GC houve diferença entre os aparelhos e entre o nível de bateria. Apenas os OP e RP sofreram influência do nível da bateria, com o grupo 10% apresentando resultado inferior aos grupos 100% e 50%, os quais apresentaram resultados similares entre si. O aparelho OP ficou com o melhor desempenho nos grupos 100%, 50% e 10% (Tabela 2).

Tabela 2. Grau de conversão (%) das resinas compostas em diferentes níveis de bateria (n=10).

	OPTLIGHT COLOR	BLUEPHASE	VALO	RADI PLUS	RADI EXPERT
100%	57.93 ± 2.98 Aa	51.39 ± 3.75 Ab	52.92 ± 3.17 Ab	53.23 ± 2.80 Ab	52.89 ± 3.81 Ab
50%	54.93 ± 2.92 ABa	52.29 ± 2.75 Aa	51.73 ± 5.15 Aa	52.17 ± 3.22 ABA	52.17 ± 3.20 Aa
10%	53.21 ± 2.65 Ba	48.95 ± 2.5 Ab	52.85 ± 2.47 Aab	49.28 ± 2.21 Bab	50.56 ± 6.23 Aab

Letras diferentes representam diferenças significantes ($P<0.05$). Letras maiúsculas compararam nível da bateria (coluna) e letras minúsculas compararam os aparelhos (linha).

No teste de sorção houve diferença no nível de bateria ($P=0.003$) apenas no aparelho OP. O LED OP em 100% apresentou desempenho superior quando comparado a 50% e 10%. Na comparação entre aparelhos em todos os níveis de bateria o aparelho BL apresentou maior sorção (Tabela 3).

Tabela 3. Sorção (μg) das resinas compostas fotoativadas com diferentes aparelhos em diferentes níveis de bateria

	OPTLIGHT COLOR	BLUEPHASE	VALO	RADI PLUS	RADI EXPERT
100%	4.68 ± 6.71 Aa	29.72 ± 8.36 Ac	14.26 ± 7.84 Ab	15.02 ± 3.47 Ab	11.68 ± 4.92 Aab
50%	12.75 ± 4.23 Ba	33.57 ± 7.65 Ab	19.55 ± 8.81 Aa	12.75 ± 7.10 Aa	13.23 ± 6.54 Aa
10%	17.01 ± 6.83 Ba	33.16 ± 7.40 Ab	17.55 ± 8.31 Aa	12.21 ± 4.13 Aa	18.12 ± 6.00 Aa

Letras diferentes representam diferenças significantes ($P<0.05$). Letras maiúsculas compararam nível da bateria (coluna) e letras minúsculas compararam os aparelhos (linha).

Nos resultados de solubilidade, houve influência do nível de bateria ($P=0.078$) e apenas o LED VL e RE não apresentaram influência do nível de

bateria. Em 100% e 50% não houve diferenças entre os LEDs. Em 10% o RP e VL apresentaram resultados superiores aos demais grupos (Tabela 4).

Tabela 4. Solubilidade (μg) das resinas compostas fotoativadas com diferentes aparelhos em diferentes níveis de bateria

	OPTILIGHT COLOR	BLUEPHASE	VALO	RADIIS PLUS	RADIIS EXPERT
100%	8.51 \pm 5.77 Aa	4.93 \pm 8.3 Aa	4.94 \pm 8.85 Aa	12.65 \pm 1.27 Ba	9.38 \pm 6.63 Aa
50%	10.1 \pm 6.98 Aa	9.44 \pm 8.12 ABa	10.55 \pm 9.63 Aa	13.03 \pm 1.30 Ba	12.78 \pm 8.24 Aa
10%	21.32 \pm 5.81 Bc	13.7 \pm 5.52 Bbc	9.99 \pm 7.72 Ab	9.56 \pm 7.08 Aa	15.54 \pm 4.99 Abc

Letras diferentes representam diferenças significantes ($P<0.05$). Letras maiúsculas compararam nível da bateria (coluna) e letras minúsculas compararam os aparelhos (linha).

Na análise de resistência a tração diametral, o desafio de sorção e solubilidade não influenciou no resultado ($P= 0.871$). Apenas o LED OP sofreu influência do nível de bateria. O aparelho OP apresentou resultados superiores aos demais grupos, VL e RP apresentaram resultados semelhantes e superiores ao Bluephase (BL) que ficou com o pior desempenho. Para ML os aparelhos OP e VL apresentaram resultados superiores aos demais grupos e semelhantes entre si, RP apresentou-se superior ao BL. Em LL, OP e VL foram superiores aos demais grupos, e RP foi superior ao BL. (Tabela 5)

Tabela 5. Resistência à tração diametral (MPa) das resinas compostas com diferentes aparelhos em diferentes níveis de bateria (n=10).

	OPTILIGHT COLOR		BLUEPHASE		VALO		RADII PLUS		RADII EXPERT	
	Sem SS	Com SS	Sem SS	Com SS	Sem SS	Com SS	Sem SS	Com SS	Sem SS	Com SS
100%	46.66 ± 5.34 Aa*	46.09 ± 4.89 Aa*	33.03 ± 5.13 Ac*	33.77 ± 3.98 Ac*	40.02 ± .65 Ab *	42.13 ± 3.10 Ab*	36.52 ± 3.26 Ac*	35.87 ± 3.47 Ac*	34.15 ± 4.01 Ac*	33.00 ± 2.85 Ac*
50%	38.84 ± 3.03 Bb*	37.58 ± 4.95 Bb*	31.74 ± 2.56 Ac*	30.88 ± 2.62 Ac*	41.41 ± 4.53 Aa*	42.26 ± 3.08 Aa*	34.50 ± 3.67 Abc*	36.63 ± 3.36 Abc*	33.03 ± 4.02 Ac*	32.10 ± 2.11 Ac*
10%	40.34 ± 2.81 Ba*	37.69 ± 3.27 Ba*	32.20 ± 3.78 Ab*	32.98 ± 3.69 Ab*	39.49 ± 40.07 Aa*	39.17 ± 2.62 Aa*	33.61 ± 4.40 Ab*	34.98 ± 3.17 Ab*	32.57 ± 2.44 Ab*	32.65 ± 2.66 Ab*

Letras diferentes representam diferenças significantes ($P<0.05$). Letras maiúsculas compararam nível da bateria (coluna), letras minúsculas compararam os aparelhos (linha) e *comparam as amostras que passaram ou não pelo desafio da sorção e solubilidade (linha).

DISCUSSÃO

5. DISCUSSÃO

De acordo com os resultados deste estudo, a hipótese nula foi rejeitada, pois o nível de bateria e os diferentes aparelhos LED utilizados podem influenciar na irradiância, grau de conversão, resistência à tração diametral, sorção e solubilidade da resina composta.

A polimerização de materiais odontológicos utilizando luz facilitou a prática clínica, e se espalhou pelo mundo. Hoje é difícil imaginar um consultório que não possua um aparelho fotoativador (Rueggeberg, 2011). Diversos estudos relacionam a luz emitida pelos aparelhos fotoativadores com as propriedades da resina composta, (de Araujo et al., 2008; Carvalho et al., 2012; Kumar et al., 2012; Pahlevan et al., 2016) em contrapartida poucos estudos relacionam a influencia do nível de bateria com as propriedades da resina composta (AlShaafi et al., 2016; Pereira et al., 2016).

Com o surgimento de aparelhos fotoativadores acionados por energia de baterias e, portanto, sem fio que o ligue diretamente a corrente elétrica, o cuidado em verificar o funcionamento em potência total se tornou ainda mais importante. O uso de aparelho fotoativador com bateria parcialmente ou quase completamente descarregada pode resultar em polimerização incompleta e, portanto, insatisfatória do material restaurador (de Moraes Porto et al., 2013). Apesar da maioria dos aparelhos utilizarem bateria de lítio, podem se comportar de forma diferente conforme são descarregados (Price, 2017).

As resinas compostas possuem várias indicações de uso, não apenas em restaurações diretas, mas também selantes, inlays, onlays, coroas, núcleos de preenchimento, cimentos, colagem de dispositivos ortodônticos dentre outros (Ferracane, 2011). As propriedades da resina composta são dependentes de diversos fatores como a composição, a técnica de inserção na cavidade, espessura e forma de fotoativação (Zimmerli et al., 2010; Bicalho et al., 2014).

Durante a polimerização das resinas objetiva-se que a maior quantidade monômeros seja convertida em cadeias poliméricas (Ribeiro et al., 2012). A

polimerização envolve uma reação de radical livre na qual o material é transformado de um estado viscoso para um rígido. Durante este processo, as ligações C = C são quebradas e convertidas em ligações covalentes C-C entre monômeros de metacrilato. Conforme a polimerização progride, a taxa de difusão dos radicais livres de propagação sofre redução. Assim, a conversão do monômero não se da por completa, e no final da reação, parte dos monômeros permanecem como ligações duplas pendentes ou monômeros não reagidos presos (Noronha Filho et al., 2010).

O GC atingido após a polimerização está relacionado diretamente com as propriedades físicas e mecânicas da resina composta (Kumbuloglu et al., 2004). Menor GC esta associado a propriedades mecânicas prejudicadas, maior descoloração e degradação, resultando em menor resistência e longevidade (Goncalves et al., 2008; Schneider et al., 2008). As leituras do GC deste estudo, foram realizada na superfície inferior das amostras, a fim de simular o GC na região que chega menos luz, após atravessar os 2mm de espessura, que consequentemente apresenta menor GC quando comparado a região superior das amostras (Son et al., 2014).

A irradiância influencia no GC das resinas compostas (Gaglianone et al., 2012). A distância da ponteira e a espessura da resina, principalmente acima de 2 mm, reduz a irradiância (Aromaa et al., 2017) e pode influenciar nas propriedades da resina conforme os resultados de GC, resistência e sorção e solubilidade deste trabalho.

A resolução ISO 10650: 2015 recomenda o uso de um medidor de potência de laboratório para medir a potência emitida pelos aparelhos fotoativadores utilizados na odontologia. Esse valor de potência é então dividido pela área da ponta para resultar no valor de irradiância. Sendo assim, é possível aumentar a irradiância de duas maneiras, aumentando à potência, que deveria ser a primeira opção, ou reduzindo a área da ponta, que é a alternativa mais utilizada pelas empresas. A irradiância representa apenas um valor médio de saída de luz em toda a ponta da luz (Price, 2017). A saída de luz de muitos aparelhos fotoativadoras não é uniforme, e algumas áreas da ponta podem conter pontos com irradiação de luz muito alta, e outros com

praticamente nenhuma luz, porém o único valor considerado e divulgado é a média (irradiância). Idealmente, o perfil do feixe deve ser homogêneo, mas na maioria dos aparelhos fotoativadores a parte central da ponteira possui maior irradiância e, à medida que as partes periféricas são analisadas, a irradiância é reduzida (Haenel et al., 2015; Price et al., 2015; Shortall et al., 2015). Em um LED com uma irradiância de 868mW/cm², a ponta pode apresentar cerca de 40% da área emitindo menos de 500mW/cm² enquanto a região central emite mais de 2500 mW/cm² (Shimokawa et al., 2016).

No presente estudo, as amostras analisadas possuíam 5mm de diâmetro e todas as pontas dos fotoativadores utilizados possuem diâmetro maior. Para os aparelhos que não possuem perfil do feixe homogêneo, a região central apresenta maior irradiância quando comparado à periferia da superfície da ponta dos aparelhos fotoativadores, o que pode ter influenciado nos resultados do trabalho e desempenho dos aparelhos. A leitura do grau de conversão foi realizada apenas no centro das amostras, sendo assim, os aparelhos que não possuem uma distribuição homogênea foram favorecidos neste experimento, já o teste de resistência é menos influenciado por este fator, pois é relevante a polimerização em toda a amostra para obter se melhores resultados.

Este estudo utilizou um aparelho novo de cada marca, após verificar homogeneidade na irradiância e quantidade de ciclos entre aparelhos da mesma marca comercial. Apesar de apresentarem bateria de lítio, com exceção do Valo que utiliza pilhas de lítio de fosfato de ferro, e a maioria dos LEDs sem fio disponíveis no mercado possuírem esta característica em comum, os resultados não podem ser extrapolados para todas as marcas comerciais, pois a performance de cada aparelho pode ser diferente (Pereira et al., 2016).

No meio oral, as resinas compostas podem absorver água e outras substâncias provenientes da saliva, alimentos e bebidas que tem uma grande influência em sua degradação (Ferracane, 2006). A sorção é influenciada pela polaridade da estrutura molecular e a presença de grupos hidroxila capazes de formar ligações de hidrogênio com a água (Mortier et al., 2004). A sorção de água 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 microfraturas (Wei et al., 2011; Arregui et al., 2016). Sorção e solubilidade na resina composta têm efeito significativo no sucesso clínico do material restaurador, influenciando na aparência estética, integridade e propriedades da superfície (Mortier et al., 2004). Durante o processo de polimerização e mesmo após sua conclusão, monômeros livres permanecem presentes no material restaurador e podem se desprender sendo incorporados pelos fluidos orais (Moreira Fdo et al., 2010; Michelsen et al., 2012). O nível de bateria e diferentes aparelhos podem influenciar na sorção e solubilidade conforme mostra os resultados deste trabalho. O valor negativo do RP 10% no teste de solubilidade pode ser explicado pelo fato do fluido absorvido durante o processo de sorção ficar confinado e incluso como parte da estrutura polimérica do material (Giannini et al., 2014; Pereira et al., 2016).

Os LEDs VL e RE foram os únicos que não sofreram influência do nível de bateria em nenhum teste e apresentaram resultados satisfatórios em todos quando comparados aos demais aparelhos. O aparelho OP apresentou ótimos resultados nos testes, porém foi o que mais sofreu influência do nível da bateria. Mesmo com a irradiação e os resultados dos testes diminuindo conforme a bateria é descarregada, ele apresentou bons resultados mesmo em 10% de bateria. Os LEDs BL e VL são os que emitem maior potência de luz, e por isso a quantidade de ciclos até descarregar totalmente a bateria são menores quando comparado a outros grupos que possuem menor potência. Enquanto VL e BL são descarregados com cerca de 190 ciclos, o RP chega a 639, considerando o ciclo como 20s.

O estudo realizado foi laboratorial e possui limitações. Os aparelhos testados são de empresas com renome internacional na odontologia, sendo que caso o cirurgião-dentista utilize aparelhos de pior qualidade, seus procedimentos clínicos adesivos podem ter menor previsibilidade (Shimokawa et al., 2016). Na prática clínica os efeitos deletérios devem ser muito pior, neste estudo a distância da ponteira para a resina foi mínima, separada apenas por uma matriz de poliéster, com o distanciamento da ponta os resultados tendem

a piorar, pondendo chegar a até menos de 25% da irradiação emitida pelo LED com apenas 9mm de distância (Price et al., 2011).

Restaurações em resina composta entram em contato com o meio oral imediatamente após serem concluídas. Ao realizar uma restauração, o material restaurador pode ficar em íntimo contato com o tecido gengival adjacente, saliva e fluido gengival antes mesmo da finalização da polimerização, que pode durar cerca de 24h (Pilo & Cardash, 1992; Alshali et al., 2013). As amostras testadas foram imersas em saliva artificial 24 horas após serem fotoativadas. Diferente das restaurações no meio oral que estão sujeito a diferentes alimentos, bebidas, alterações no *ph* e pacientes que possam ter algum distúrbio como a bulimia ou doença do refluxo gastresofágico, as amostras foram simuladas ao desafio apenas da saliva artificial, demonstrando que clinicamente os resultados podem ser piores.

Diante disto, os clínicos devem conhecer os aparelhos fotoativadores com que trabalham e ter cuidado no momento da seleção. O nível de bateria pode influenciar nas propriedades da resina composta, e se for o caso deve-se sempre manter o aparelho fotoativador carregado. O perfil do feixe pode não ser homogêneo em toda a área da ponteira, neste caso deve-se realizar a fotoativação em mais de um local a fim de que toda a área a ser polimerizada receba irradiação suficiente para se obter ótimas propriedades físicas e mecânicas. Mais estudos clínicos e laboratoriais devem ser realizados com diferentes aparelhos e diferentes materiais ativados por luz para comprovar a influência do aparelho e do nível de bateria nas propriedades destes materiais.

CONCLUSÃO

6. CONCLUSÃO

Dentro das limitações do estudo conclui-se que diferentes aparelhos fotoativadores em diferentes níveis de bateria podem influenciar no grau de conversão, resistência à tração diametral, sorção e solubilidade da resina composta.

REFERÊNCIAS

7. REFERÊNCIAS

1. Almeida GS, Poskus LT, Guimaraes JG, da Silva EM. The effect of mouthrinses on salivary sorption, solubility and surface degradation of a nanofilled and a hybrid resin composite. **Operative dentistry.** 2010;35(1):105-11. <https://doi.org/10.2341/09-080-L>
2. AlShaafi MM, Harlow JE, Price HL, Rueggeberg FA, Labrie D, AlQahtani MQ, et al. Emission Characteristics and Effect of Battery Drain in "Budget" Curing Lights. **Operative dentistry.** 2016;41(4):397-408. <https://doi.org/10.2341/14-281-L>
3. Alshali RZ, Silikas N, Satterthwaite JD. Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials.** 2013;29(9):e213-7.
4. Aromaa MK, Lassila LVJ, Vallittu PK. Effect of Distance on Light Transmission Through Polymerized Resin Composite. **The European journal of prosthodontics and restorative dentistry.** 2017;25(3):131-5.
5. 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>
6. Bayne SC. Correlation of clinical performance with 'in vitro tests' of restorative dental materials that use polymer-based matrices. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials.** 2012;28(1):52-71. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.08.594>
7. Bicalho AA, Valdivia AD, Barreto BC, Tantbirojn D, Versluis A, Soares CJ. Incremental filling technique and composite material--part II: shrinkage and shrinkage stresses. **Operative dentistry.** 2014;39(2):E83-92. <https://doi.org/10.2341/12-442-L>
8. Bittencourt BF, Dominguez JA, Farago PV, Pinheiro LA, Gomes OM. Alternative coinitiators applicable to photocurable resin composites. **Oral health and dental management.** 2014;13(3):568-72.
9. Carvalho AA, Moreira Fdo C, Fonseca RB, Soares CJ, Franco EB, Souza JB, et al. Effect of light sources and curing mode techniques on sorption, solubility and biaxial flexural strength of a composite resin. **Journal of applied oral science : revista FOB.** 2012;20(2):246-52. <https://doi.org/10.1590/S1678-77572012000200021>
10. de Araujo CS, Schein MT, Zanchi CH, Rodrigues SA, Jr., Demarco FF. Composite resin microhardness: the influence of light curing method, composite shade, and depth of cure. **The journal of contemporary dental practice.** 2008;9(4):43-50.
11. de Moraes Porto IC, Ramos de Brito AC, Parolia A. Effect of cross infection control barriers used on the light-curing device tips on the cure depth of a resin composite. **Journal of conservative dentistry : JCD.** 2013;16(3):224-8. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.111319>
12. de Oliveira DC, Rocha MG, Gatti A, Correr AB, Ferracane JL, Sinhoret MA. Effect of different 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. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.08.015>
13. 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>
14. Fan PL, Schumacher RM, Azzolin K, Geary R, Eichmiller FC. Curing-light intensity and depth of cure of resin-based composites tested according to international standards. **Journal of the American Dental Association.** 2002;133(4):429-34; quiz 91-3. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2002.0200>

15. 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>
16. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials.** 2011;27(1):29-38. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020>
17. Gaglianone LA, Lima AF, Araujo LS, Cavalcanti AN, Marchi GM. Influence of different shades and LED irradiance on the degree of conversion of composite resins. **Brazilian oral research.** 2012;26(2):165-9. <https://doi.org/10.1590/S1806-8324201200500002>
18. Giannini M, Di Francescantonio M, Pacheco RR, Cidreira Boaro LC, Braga RR. Characterization of water sorption, solubility, and roughness of silorane- and methacrylate-based composite resins. **Operative dentistry.** 2014;39(3):264-72. <https://doi.org/10.2341/12-526-L>
19. Goncalves 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>
20. Haenel T, Hausnerova B, Steinhäus J, Price RB, Sullivan B, Moeginger B. Effect of the irradiance distribution from light curing units on the local micro-hardness of the surface of dental resins. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials.** 2015;31(2):93-104. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.11.003>
21. Jandt KD, Mills RW. A brief history of LED photopolymerization. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials.** 2013;29(6):605-17. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.02.003>
22. Jimenez-Planas A, Martin J, Abalos C, Llamas R. Developments in polymerization lamps. **Quintessence international.** 2008;39(2):e74-84.
23. Kassim BA, Kisumbi BK, Lesan WR, Gathece LW. Effect of Light Curing Unit Characteristics on Light Intensity Output, Depth of Cure and Surface Micro-Hardness of Dental Resin Composite. **East African medical journal.** 2013;90(9):288-96.
24. Kumar CN, Gururaj M, Paul J. A comparative evaluation of curing depth and compressive strength of dental composite cured with halogen light curing unit and blue light emitting diode: an in vitro study. **The journal of contemporary dental practice.** 2012;13(6):834-7.
25. Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. **The International journal of prosthodontics.** 2004;17(3):357-63.
26. Kutuk ZB, Gurgan S, Hickel R, Ilie N. Influence of extremely high irradiances on the micromechanical properties of a nano hybrid resin based composite. **American journal of dentistry.** 2017;30(1):9-15.
27. Michelsen VB, Kopperud HB, Lygre GB, Bjorkman L, Jensen E, Kleven IS, et al. Detection and quantification of monomers in unstimulated whole saliva after treatment with resin-based composite fillings in vivo. **European journal of oral sciences.** 2012;120(1):89-95. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2011.00897.x>
28. Moreira Fdo C, Antoniosi Filho NR, Souza JB, Lopes LG. Sorption, solubility and residual monomers of a dental adhesive cured by different light-curing units. **Brazilian dental journal.** 2010;21(5):432-8. <https://doi.org/10.1590/S0103-64402010000500010>
29. 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.

30. Noronha Filho JD, Branda NL, Poskus LT, Guimaraes JG, Silva EM. A critical analysis of the degree of conversion of resin-based luting cements. **Journal of applied oral science : revista FOB.** 2010;18(5):442-6. <https://doi.org/10.1590/S1678-775720100050003>
31. 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).
32. 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>
33. Pilo R, Cardash HS. Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials.** 1992;8(5):299-304. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(92\)90104-K](https://doi.org/10.1016/0109-5641(92)90104-K)
34. Price RB, Ferracane JL, Shortall AC. Light-Curing Units: A Review of What We Need to Know. **Journal of dental research.** 2015;94(9):1179-86. <https://doi.org/10.1177/0022034515594786>
35. 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).
36. 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>
37. Ribeiro BC, Boaventura JM, Brito-Goncalves J, Rastelli AN, Bagnato VS, Saad JR. Degree of conversion of nanofilled and microhybrid composite resins photo-activated by different generations of LEDs. **Journal of applied oral science : revista FOB.** 2012;20(2):212-7. <https://doi.org/10.1590/S1678-77572012000200015>
38. Rueggeberg FA. State-of-the-art: dental photocuring--a review. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials.** 2011;27(1):39-52. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.021>
39. Ruyter IE, Svendsen SA. Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. **Acta odontologica Scandinavica.** 1978;36(2):75-82. <https://doi.org/10.3109/00016357809027569>
40. Sadowsky SJ. An overview of treatment considerations for esthetic restorations: a review of the literature. **The Journal of prosthetic dentistry.** 2006;96(6):433-42. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.09.018>
41. Schneider LF, Pfeifer CS, Consani S, Prahl 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>
42. 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. <https://doi.org/10.2341/16-349-L>
43. Shimokawa CA, Turbino ML, Harlow JE, Price HL, Price RB. Light output from six battery operated dental curing lights. **Materials science & engineering C, Materials for biological applications.** 2016;69(1036-42).
44. 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. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.03.004>
45. Shortall AC, Felix CJ, Watts DC. Robust spectrometer-based methods for characterizing radiant exitance of dental LED light curing units. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials.** 2015;31(4):339-50. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.02.012>

46. Shortall AC, Price RB, MacKenzie L, Burke FJ. Guidelines for the selection, use, and maintenance of LED light-curing units - Part 1. **British dental journal**. 2016;221(8):453-60. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2016.772>
47. Sideridou I, Tserki V, Papanastasiou G. Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. **Biomaterials**. 2003;24(4):655-65. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(02\)00380-0](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(02)00380-0)
48. Son SA, Roh HM, Hur B, Kwon YH, Park JK. The effect of resin thickness on polymerization characteristics of silorane-based composite resin. **Restorative dentistry & endodontics**. 2014;39(4):310-8. <https://doi.org/10.5395/rde.2014.39.4.310>
49. 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)
50. Terry DA. Direct applications of a nanocomposite resin system: Part 1--The evolution of contemporary composite materials. **Practical procedures & aesthetic dentistry : PPAD**. 2004;16(6):417-22.
51. 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>
52. Zimmerli B, Strub M, Jeger F, Stadler O, Lussi A. Composite materials: composition, properties and clinical applications. A literature review. **Schweizer Monatsschrift fur Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia**. 2010;120(11):972-86.