



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE MEDICINA**

**José Eduardo Petit Rodokas**

**Aparelho odontológico com funções para fotopolimerização de  
resinas compostas e fototerapia**

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina,  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita  
Filho”, Câmpus de Botucatu, para obtenção do título  
de mestre em Pesquisa e Desenvolvimento -  
Biotecnologia Médica.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Plana Simões

**Botucatu  
2020**

José Eduardo Petit Rodokas

Aparelho odontológico com funções para  
fotopolimerização de resinas compostas e  
fototerapia

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Medicina, Universidade Estadual Paulista  
“Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de mestre  
em Pesquisa e Desenvolvimento -  
Biotecnologia Médica.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Plana Simões

Botucatu  
2020

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.  
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP  
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Rodokas, José Eduardo Petit.

Aparelho odontológico com funções para  
fotopolimerização de resinas compostas e fototerapia /  
José Eduardo Petit Rodokas. - Botucatu, 2020

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina de  
Botucatu

Orientador: Rafael Plana Simões

Capes: 31302033

1. Instrumentos e aparelhos odontológicos. 2. Cura  
luminosa de adesivos dentários. 3. Resinas compostas.  
4. Fototerapia. 5. Lâmpadas de LED.

Palavras-chave: Bioestimulação; Fotopolimerização;  
Fototerapia; LED; Resinas compostas.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



**ATA DA DEFESA EM SESSÃO FECHADA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOSÉ EDUARDO PETIT RODOKAS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (BIOTECNOLOGIA MÉDICA), DA FACULDADE DE MEDICINA - CÂMPUS DE BOTUCATU.**

Aos 21 dias do mês de dezembro do ano de 2020, às 15:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JOSÉ EDUARDO PETIT RODOKAS, intitulada **Desenvolvimento de um aparelho odontológico com funções para fotopolimerização de resinas compostas e fototerapia para tratamento de feridas**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. RAFAEL PLANA SIMÕES (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Bioprocessos e Biotecnologia / FCA/Botucatu - Unesp, Prof. Dr. EDUARDO CARLOS BIANCHI (Participação Virtual) do(a) Depto. de Engenharia Mecânica / FE/Bauru - Unesp, Prof. Dr. AUGUSTO BATAGIN NETO (Participação Virtual) do(a) Engenharia de Produção / Câmpus Experimental de Itapeva - Unesp. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. RAFAEL PLANA SIMÕES

*“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência,  
poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar.”*

***William Shakespeare***

## **Agradecimentos**

*Meus agradecimentos primeiramente a Deus, que sempre traz novas oportunidades e fortalecendo para continuar capacitando e dando resiliência para perseverar.*

*A minha família, minha esposa Renata Ruiz Rodokas e meus pais, Afonso Rodokas e Sonia Terezinha Petit Rodokas, que por diversas vezes me incentivaram e me apoiaram nos estudos e no trabalho, mesmo que isso signifique-se abster-se de um momento em família, obrigado.*

*Ao Prof. Dr. Rafael Plana Simões, meu orientador, que com muita paciência e exigência, guiou me para a maneira mais correta de trabalhar, lapidando os conceitos e ajudando a tornar possível o que parecia tão difícil.*

*E por fim, ao amigo mestre Guilherme dos Santos Sousa que, como se fosse um coorientador, ajudou me trabalhando arduamente neste projeto, de maneira que não seria possível seu perfeito funcionamento sem o seu trabalho.*

## RESUMO

O presente invento consiste em um aparelho odontológico com duas funções distintas em um único dispositivo: 1- função de fotoativação de resinas compostas utilizadas em restaurações dentárias e 2- função de fototerapia utilizada em bioestimulação. Em ambos os casos foi utilizado como fonte luminosa Diodos Emissores de Luz (LED) de 2ª geração. O aparelho é composto de ponteira comutável com a possibilidade de troca ou seleção de fonte de luz pelo operador e ele pode ser operado diretamente no dispositivo proposto ou de forma remota utilizando um *smartphone* ou dispositivo equivalente. Foi desenvolvido o projeto mecânico e ergonômico do aparelho para acomodar sua ponteira comutável e o circuito eletrônico embarcado. Para operação do dispositivo foi desenvolvido um *software* que permite o controle do aparelho por operação remota via *bluetooth* ou por comandos no próprio aparelho. Obteve-se um protótipo completamente funcional construído por impressão em 3D, o qual teve sua avaliação de patenteabilidade aprovada pela Agência Unesp de Inovação (AUIN), atestando sua viabilidade industrial e inovação.

**Palavras-chave:** Fotopolimerização, Fototerapia, LED, Resinas compostas, Bioestimulação.

## **ABSTRACT**

The present invention consists of a dental equipment with two distinct functions in a single device: 1- function of photoactivation of composite resins used for dental restorations and 2- function of phototherapy used in biostimulation. In both cases, 2nd generation Light Emitting Diodes (LEDs) were used as a light source. The device consists of a switchable tip with the possibility of changing or selecting a light source by the operator and it can be operated directly on the proposed device or remotely using a smartphone or equivalent device. The mechanical and ergonomic design of the device was developed to accommodate its switchable tip and the embedded electronic circuit. For device operation, software was developed that allows the device to be controlled by remote operation via bluetooth or by commands on the device itself. We obtained a fully functional prototype built by 3D printing, which had its patentability assessment approved by the Unesp Innovation Agency (AUIN), attesting its industrial viability and innovation.

**Keywords:** Photopolymerization, Phototherapy, LED, Composite resins, Biostimulation.

## Sumário

1. Considerações iniciais .....	2
2. Histórico da tecnologia .....	3
2.1. Fotopolimerização .....	3
2.2. Fototerapia .....	5
2.3. Justificativa para desenvolvimento do dispositivo proposto .....	7
3. Evolução do estado da técnica .....	8
4. Desvantagens ou limitações .....	10
5. Detalhe da inovação do presente invento .....	11
6. Descrição detalhada da tecnologia.....	12
6.1. Fontes de Luz.....	12
6.2. Circuito eletrônico .....	14
6.3. Sistema de gerenciamento do aparelho.....	15
6.4. Operação do Aparelho .....	15
6.5. Corpo do Aparelho .....	16
7. Resultados.....	19
7.1. Função de fotopolimerização.....	19
7.2. Função de fototerapia .....	21
8. Bibliografia .....	22
9. Produções científicas desta tecnologia .....	25
10. Outras produções durante a pós-graduação .....	26

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O regulamento do Programa de Pós-Graduação em Pesquisa e Desenvolvimento (Biotecnologia Médica), aprovado pela Resolução Unesp - 64 (de 24-4-2012) e alterado pela Resolução Unesp-89 (de 28-10-2017), para alunos ingressantes até março/2019, em seu Título VIII, Artigo 20, define que:

*Da Dissertação ou Trabalho Equivalente - Artigo 20: Para obtenção do título de Mestre, além das outras exigências estabelecidas neste Regulamento, nas Instruções Normativas estabelecidas pelo Conselho e no RGPG da UNESP, é obrigatória a aprovação na defesa de dissertação ou trabalho equivalente, de acordo com o estabelecido no artigo 26 do RGPG da UNESP.*

Neste caso, foi optada pela apresentação do formulário de pedido de patente encaminhado à Agência Unesp de Inovação (AUIN) como trabalho equivalente, seguindo alterações sugeridas pela banca de qualificação, conforme segue.

## **2. HISTÓRICO DA TECNOLOGIA**

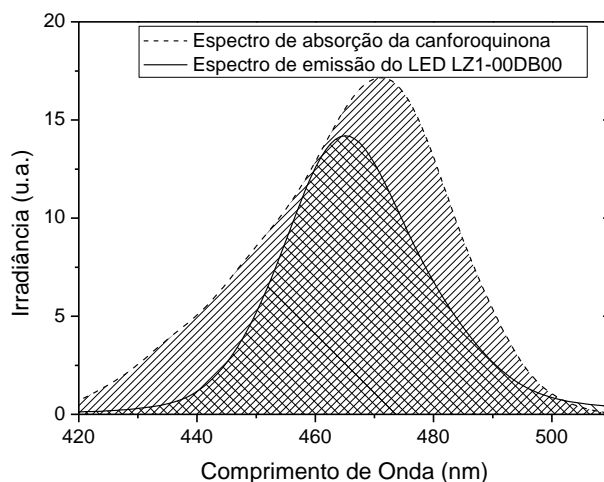
Muitos dispositivos eletrônicos que utilizam fontes de luz para diferentes tipos de tratamentos são utilizados na área de odontologia. Dentre esses equipamentos, os dispositivos mais utilizados são os fotoativadores de resinas compostas (conhecidos popularmente como fotopolimerizadores) e os dispositivos de fototerapia.

### **2.1. Fotopolimerização**

De maneira geral, os dispositivos fotopolimerizadores são utilizados para o processo de polimerização de resinas compostas. As resinas compostas surgiram e se popularizaram por melhorar a aparência/estética em restaurações dentárias, sendo um material sucessor do amálgama. Em síntese, o processo de fotopolimerização consiste na conversão de monômeros (material resinoso) em polímeros (material curado) (ATAI; WATTS, 2006). Em outras palavras, a luz proveniente desses aparelhos desencadeia uma reação química de polimerização das resinas compostas, transformando a massa de monômeros em polímeros e endurecendo o material (GUIMARÃES et al., 2018). Atualmente, existem diversas pesquisas nessa área com o objetivo de melhorar o processo de fotopolimerização, tanto pela melhoria das características físico-químicas das resinas compostas fotopolimerizáveis, quanto pela evolução dos aparelhos fotopolimerizadores (AFFONSO et al., 2016; CADENARO et al., 2019; GUIMARÃES et al., 2018; HE et al., 2019; ZHANG; XIE, 2020).

O equipamento chamado fotopolimerizador emite luz com comprimento de onda na faixa correspondente à cor azul, com pico de emissão de aproximadamente 470 nm. Esse comprimento de onda corresponde ao pico absorvância das substâncias fotoiniciadoras da reação de polimerização (RIBEIRO et al., 2016). Em geral, a canforoquinona é a substância mais utilizada como agente fotoiniciador da reação de polimerização, sendo que o espectro de emissão do diodo emissor de luz (sigla LED do termo em inglês *light-emitting diode*)

LED azul comumente utilizado nos dispositivos fotopolimerizadores é adequado para a fotoativação dessa substância (substância essa que absorve energia luminosa em comprimentos de onda que variam de 420 nm a 500 nm), conforme listrado na Figura 1 (AFFONSO et al., 2016; BHAMRA; FLEMING; DARVELL, 2010).



**Figura 1.** Espectro de emissão luminosa de um LED utilizado em equipamentos fotopolimerizadores e espectro de absorção luminosa da canforoquinona (AFFONSO et al., 2016).

Em geral, os dispositivos podem também utilizar lâmpadas halógenas como fontes de luz, contudo, os LEDs são mais utilizados atualmente devido ao seu relativo baixo custo e a sua eficiência energética, ou seja, baixo consumo de energia elétrica (KURACHI et al., 2001). Esses LEDs podem ser denominados de segunda ou terceira geração (dependendo de sua potência luminosa), os quais são fabricados dentro de especificações para atender os procedimentos na área da Odontologia Restauradora (RUEGGEBERG, 2011). Diversos modelos de fontes de luz com LED de 5 W ou mais de potência luminosa são especificamente fabricados para aplicações odontológicas. Todos esses fatos apresentados culminaram em uma grande difusão comercial de aparelhos fotoativadores de LED. A Figura 2 ilustra um típico aparelho fotopolimerizador disponível no mercado.



**Figura 2.** Fotopolimerizador modelo 3M™ Elipar™ DeepCure-L Fotopolimerizador LED (“Fotopolimerizador LED 3M™ Elipar™ DeepCure-L”, [s.d.]).

## 2.2. Fototerapia

Fototerapia, no contexto da medicina, consiste no uso da luz de diferentes comprimentos de onda para aplicações médicas distintas. O relato de uso de radiação para tratamento de doenças tem um longo histórico, desde a exposição de pacientes à luz solar para tratamento de doenças como o vitiligo (proposta a cerca de 1400 a.C. pelos hindus); até as recentes técnicas propondo o uso de LASER (sigla inglesa para *light amplification by stimulated emission of radiation*) de baixa irradiância e/ou LEDs de alta potência para tratamento de doenças diversas (ROELANDTS, 2002). Devido à frequência da luz dos dispositivos de fototerapia, esse tipo de tratamento destina-se essencialmente a doenças de pele (ARAÚJO; VAZ; RAMOS, 1996). O histórico de estudos reportados na literatura mostram que esse tipo de terapia é utilizado para tratamento de psoríase, cicatrização de feridas, lúpus vulgar, dermatites, eczema grave, além de eritoblastose fetal (CARVALHO et al., 1997; DAMANTE et al., 2008; NG; LI; PU, 2018; ROELANDTS, 2002; VREMAN; WONG; STEVENSON, 2004).

Atualmente, estudos mostram que a fototerapia pode ser utilizada ainda para tratamento da telangiectasia, que nada mais é do que pequenos vasos sanguíneos dilatados que podem causar desconforto, dor local ou sofrimento psicológico, sendo esse uma das nossas propostas de uso futuro do dispositivo objeto de patente. Nesse tratamento a fototerapia pode ser utilizada em conjunto com um fotossensibilizador administrado no local, ele absorve um comprimento de onda apropriado para o tratamento e então inicia reações fotoquímicas (BUZZÁ et al., 2019).

Sendo assim, de maneira sintética, verifica-se que a fototerapia pode ser utilizada em todas aplicações a seguir: reparação tecidual (também chamada de bioestimulação); analgesia e desinflamação; aceleração da cicatrização pós-cirúrgica e ferimentos; diminuição do edema, hematoma e escaras e redução antimicrobiana.

Estudos mostram que a incidência de luz tem influência sobre células vivas, e, dessa forma, tem influência sobre tecidos do organismo humano (BARBOZA et al., 2014). Além disso, esse tipo de tratamento tem sido cada vez mais estudado e utilizado por ser um método não invasivo (CAVALCANTI et al., 2011).

Nesse contexto, existem diversos tipos de equipamento para fototerapia para esse tratamento, diferenciando-se por sua fonte de luz (VREMAN; WONG; STEVENSON, 2004). Cada aplicação depende de uma frequência luminosa ou comprimento de onda da fonte de luz. Em geral, os tratamentos de fototerapia são realizados utilizando LASER de baixa intensidade (LBI), lâmpadas com filtros de comprimento de onda ou ainda LED. Especificamente na área de odontologia, é predominante o uso de aparelhos de LBI para tratamento de feridas na boca (AVCI et al., 2013). A Figura 3 apresenta um típico LBI utilizado na área de odontologia.



**Figura 3.** LBI modelo Laserpulse Ibramed, com emissão de luz com comprimento de onda de 904 nm, ou seja, na região do infravermelho (“Laserpulse » Laser de baixa potência » Ibramed”, [s.d.]).

Conforme descrito previamente, diferentes comprimentos de onda são utilizados em fototerapia. Em geral são utilizados feixes luminosos com comprimento de onda na região do vermelho e/ou do infravermelho (635, 730, 810 e 980 nm) com densidade de potência luminosa da ordem de 10 W. Estudos mostram que, para o processo de tratamento de cicatrização de feridas, o comprimento de onda ideal é da ordem de aproximadamente 800 a 900 nm (GUPTA; DAI; HAMBLIN, 2014).

### **2.3. Justificativa para desenvolvimento do dispositivo proposto**

Face a todo o exposto, ressalta-se que ainda não existe no mercado um dispositivo com as duas funções (fotopolimerização e fototerapia) em um único aparelho. Sendo assim, a proposta da presente patente consiste no desenvolvimento de um equipamento com as duas funções (fotopolimerização e fototerapia) em um único dispositivo e considera-se essa como novidade inventiva do dispositivo proposto.

### 3. EVOLUÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

O aparelho de fotopolimerização e fototerapia proposto pode ser operado através de uma interface digital, podendo ser por *smartphone*, que transmite informações ao aparelho proposto de acordo com a função a ser utilizada: fototerapia ou fotopolimerização por meio de comunicação sem fio. Para isso, foi elaborado um projeto que possibilita a troca da fonte luminosa do aparelho de acordo com a aplicação desejada. A intercambialidade de parte do aparelho que contém a fonte de luz (LED azul e LED infravermelho) pode ser feita sem o uso de qualquer tipo de ferramenta, apenas com um encaixe manual.

Para o aparelho ser utilizado com a função de fototerapia, foi criado mais uma inovação tecnológica, fazendo uso do LED de alta potência em substituição ao LBI. Com a evolução dos dispositivos LEDs, já existem atualmente LEDs com potência luminosa da ordem de 10 W, ou seja, com a mesma potência luminosa dos LBIs. Outro item importante a se observar se refere o espectro de emissão luminosa do LED, o qual, apesar de possuir um pico de maior intensidade em um comprimento de onda específico, também emite radiação em frequências próximas a esse pico, o que não ocorre com os LBIs (que emitem radiação em um único comprimento de onda). Apesar de não possuir feixe luminoso coerente, o feixe de luz emitido por um LED pode ser colimado utilizando um condutor de fibra óptica (também chamado de ponteira óptica), assim como é feito nos aparelhos fotopolimerizadores convencionais.

Pode-se encontrar aparelhos com a função de fotopolimerização a venda com valores variando entre aproximadamente \$85,00 a \$1.030,00. Já os aparelhos de fototerapia são encontrados com valores entre aproximadamente \$190,00 a \$1.380,00 (em uma pesquisa feita dia 29 de outubro de 2020 utilizando a plataforma Google Shopping). Com base nos avanços tecnológicos apresentados, pode-se afirmar que a presente inovação terá um valor

comercial viável, incorporando a função de um aparelho fotopolimerizador e um aparelho de fototerapia em um único aparelho, tendo seu custo de produção estimado em \$100,00. Ressalta-se que esse custo é para a produção do protótipo apresentado neste documento. Em escala comercial, esse preço certamente apresentará variação, sendo inviável no estágio atual de desenvolvimento do projeto estimar o custo de produção do aparelho em escala industrial.

#### **4. DESVANTAGENS OU LIMITAÇÕES**

A única limitação do aparelho é que a ponteira para fototerapia proposta (usando tecnologia LED com condutor óptico) necessariamente deve ser posicionada a uma distância pequena da região a ser irradiada para que não haja diminuição da densidade de potência luminosa pela dispersão da luz. Contudo, esse procedimento não implica em uma mudança na maneira de operação pelos usuários desse tipo de equipamento, pois esses já realizam o procedimento de fotopolimerização e fototerapia utilizando uma distância pequena (aproximadamente 3 mm).

## **5. DETALHE DA INOVAÇÃO DO PRESENTE INVENTO**

A inovação do presente invento consiste em um aparelho odontológico com duas funções distintas em um único dispositivo: 1- função de fotoativação de resinas compostas utilizadas em restaurações dentárias e 2- função de fototerapia utilizadas para bioestimulação. O aparelho é composto de ponteira comutável com a possibilidade de troca ou seleção de fonte de luz pelo operador. Como fonte de luz para a função de fotopolimerização foi utilizado um LED de 2ª geração, com emissão luminosa na frequência da cor azul. Para a função de fototerapia é utilizado um LED de alta potência na frequência luminosa na região do infravermelho.

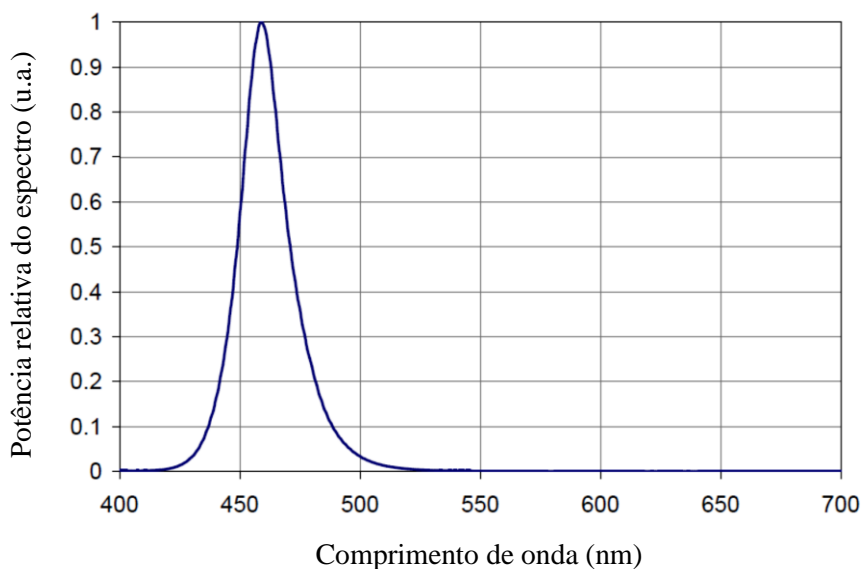
O aparelho pode ser operado diretamente no dispositivo proposto ou de forma remota utilizando um dispositivo móvel por conexão sem fio, a partir do qual é permitido ao usuário escolher a função e os parâmetros desejados.

## 6. DESCRIÇÃO DETALHADA DA TECNOLOGIA

O sistema eletrônico foi construído utilizando microcontrolador ARDUINO, modelo NANO. Foram utilizados os seguintes acessórios para esses microcontroladores: módulo carregador de bateria, módulo *bluetooth*/módulo *wi-fi* (que é utilizado para comunicação com dispositivo móvel), *display* de cristal líquido (LCD do termo em inglês *liquid crystal display*), placa elevadora de tensão *step-up* e um circuito de potência necessário para acionamento dos LEDs. O circuito de potência é necessário porque as portas do microcontrolador ARDUINO não suportam operar com intensidade de corrente superiores a 400 mA (sendo necessário 2,8 A para acionamento dos LEDs). O equipamento pode ser operado por uma interface visual, podendo ser em um *smartphone* ou dispositivo equivalente (como *tablets*, por exemplo). Para isso foi desenvolvido um aplicativo em linguagem de programação JAVA para a operação remota do equipamento e um *script* em linguagem C para controle do Arduino. A comunicação sem fio pode ser realizada por transmissão bluetooth ou outro tipo de tecnologia de transmissão de dados sem fio.

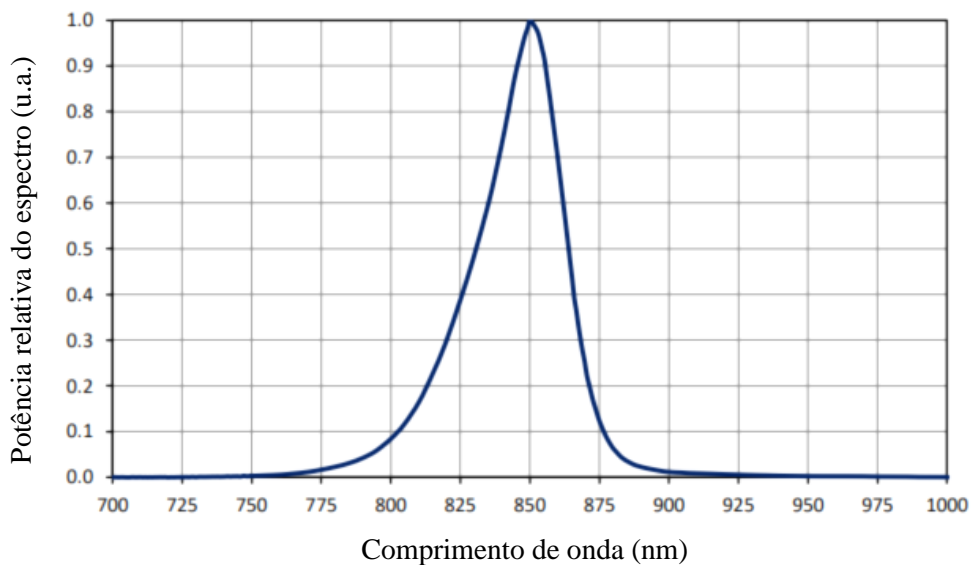
### 6.1. Fontes de Luz

Como fonte de luz para o processo de polimerização foi utilizado um LED azul de segunda geração, podendo ser o LED modelo LZ1-00DB00, do fabricante LED Engin Inc. LED Products. Especificamente esse modelo de LED possui alta potência luminosa (10 W) e pequena dimensão (4,4 mm x 4,4 mm), ideal para a aplicação proposta. A curva do espectro de emissão desse modelo de LED é apresentada na Figura 4.



**Figura 4.** Espectro de emissão luminosa do LED LZ1-00DB00 (“LZ1-00DB00.pdf”, [s.d.]).

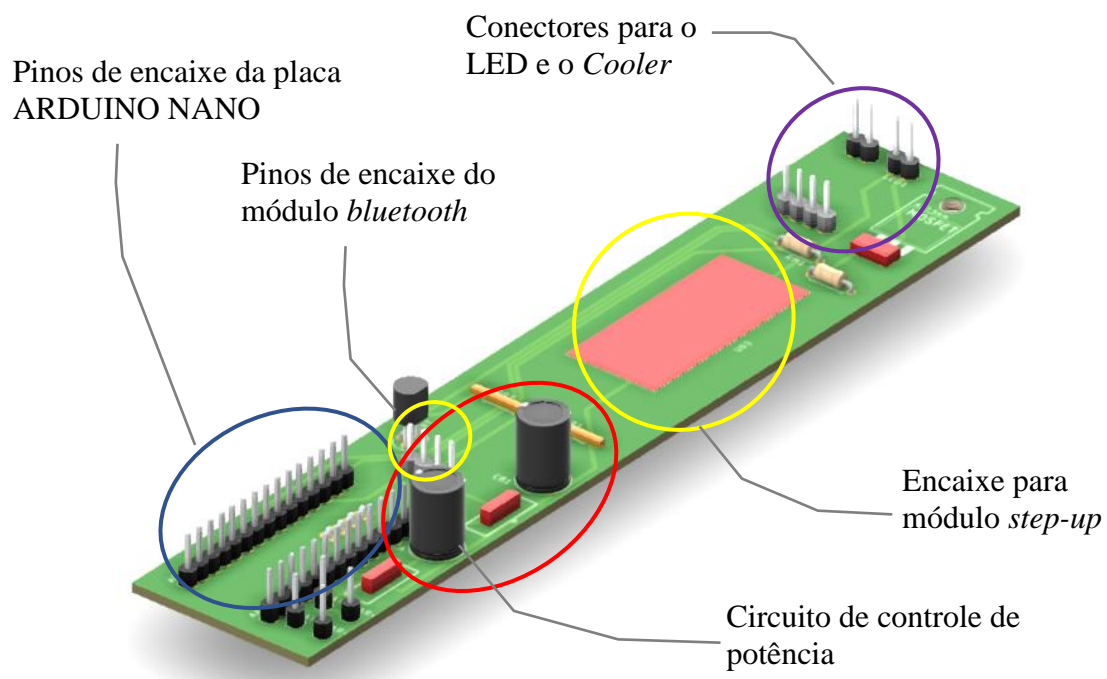
Como fonte de luz para a fototerapia foi utilizado o LED infravermelho, podendo ser o LED modelo LZ1-00R402 (850nm), do fabricante LED Engin Inc. Esse modelo de LED também possui alta potência luminosa (10 W) e pequena dimensão (4,4 mm x 4,4 mm). A curva do espectro de emissão desse modelo de LED é apresentada na Figura 5.



**Figura 5.** Espectro de emissão luminosa do LED LZ1-00R402 (“LED Engin - LZ1-00R402 - 850nm Infra Red 930mW”, [s.d.]).

## 6.2. Circuito eletrônico

O circuito eletrônico que gerencia o funcionamento do aparelho foi desenvolvido de forma a integrar os módulos já descritos. Depois de finalizados os testes em *protoboard*, a topografia do circuito foi projetada utilizando o *software* EAGLE © 2019 Autodesk inc. A Figura 6 ilustra a arquitetura do circuito para a integração dos principais módulos previamente descritos.



**Figura 6.** Circuito esquemático do fotoativador.

Esse circuito é responsável pela modulação da intensidade luminosa emitida pelo LED. Destaca-se que, para isso, foi utilizado um MOSFET e associação de resistores com o LED. O controle de intensidade de corrente é controlado pelo microcontrolador ARDUINO ou qualquer outro microcontrolador que seja capaz de produzir/emular sinais PWM. Ressalta-se que mais detalhes desse circuito não serão apresentados no presente documento, pois o circuito será futuramente objeto de registro no Instituto Nacional da Propriedade

Industrial (INPI), não podendo estar previamente detalhado em documento previamente publicado.

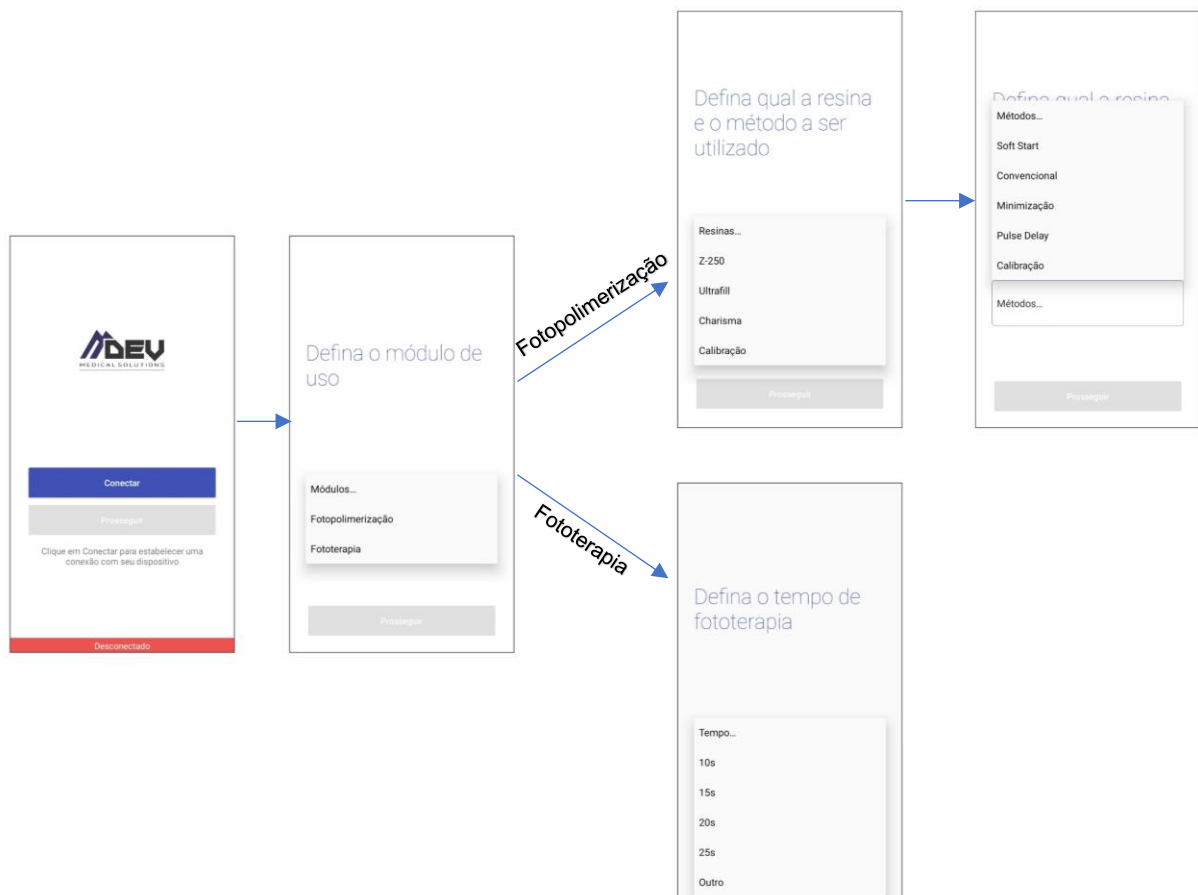
### **6.3. Sistema de gerenciamento do aparelho**

O sistema de gerenciamento do aparelho é composto de um aplicativo desenvolvido utilizando o *software* livre Android Studio, em linguagem JAVA, e um *script* de gerenciamento do microcontrolador desenvolvido em linguagem C<sup>++</sup>. Os elementos gráficos e menus do aplicativo foram criados a partir de ferramentas contidas no próprio *software*. Esse sistema foi devidamente registrado no INPI, com certificado de registro de programa de computador número BR512020000989-1. O aplicativo para gerenciamento do equipamento está disponível na Google Play Store com o nome MDev.

De maneira sintética, o aplicativo envia ao dispositivo as informações/parâmetros do processo de fototerapia e fotopolimerização (como tempo e método de polimerização, por exemplo) e o *script* C<sup>++</sup> gerencia a irradiância emitida pelo LED através de funções matemáticas similares às publicadas em trabalho prévio do grupo de pesquisa (MAGRO et al., 2020).

### **6.4. Operação do Aparelho**

O aparelho pode ser operado de duas maneiras distintas: A primeira consiste no uso de botões na carcaça do aparelho, os quais permitem ao usuário controlar a conexão sem fio e/ou iniciar a operação de fotopolimerização/fototerapia. A segunda maneira é feita através do uso do dispositivo móvel por meio de conexão por *bluetooth*. No aplicativo Android previamente descrito, é possível realizar a ancoragem com o equipamento por meio de comunicação sem fio e selecionar o tipo de função e parâmetros para a qual o aparelho será utilizado. A Figura 7 ilustra os passos para operar o aparelho com o uso do aplicativo.



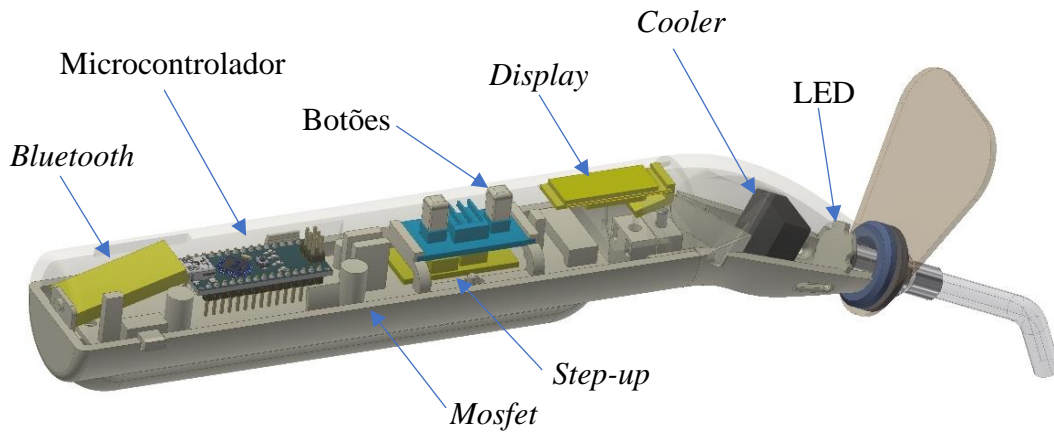
**Figura 7.** Fluxograma de operação do aparelho pelo aplicativo.

Após a seleção do método de operação, o aplicativo móvel envia os dados ao aparelho que realiza as mudanças lógicas para operar de acordo com a função selecionada.

### 6.5. Corpo do Aparelho

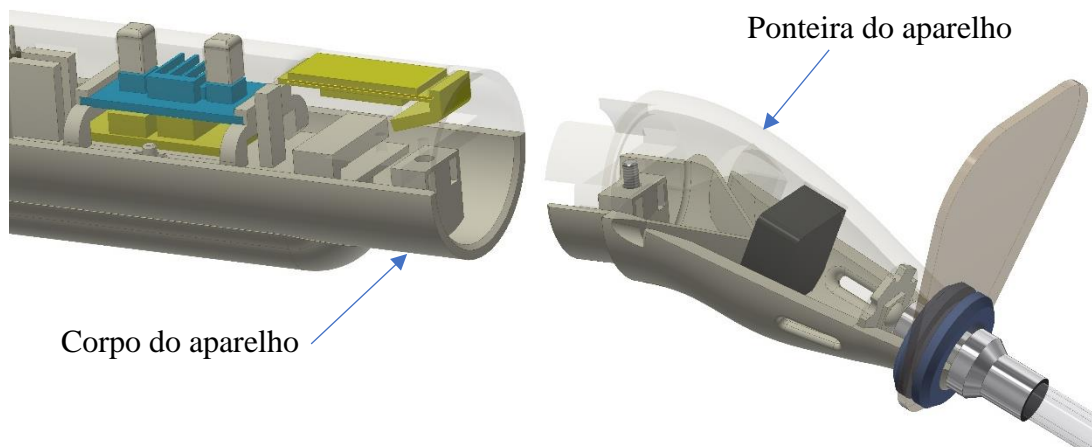
Por final, o protótipo do corpo do aparelho foi desenvolvido no *software* de *design* mecânico INVENTOR 2019 Autodesk inc. versão educacional, produzido pela empresa Autodesk. O aparelho foi concebido priorizando viabilizar uma boa ergonomia e facilidade de manipulação durante a sua utilização. A estrutura interna desse produto foi projetada de maneira a comportar todas as placas e módulos necessários para seu funcionamento.

A Figura 8 ilustra como todos os componentes foram encaixados internamente na estrutura projetada.



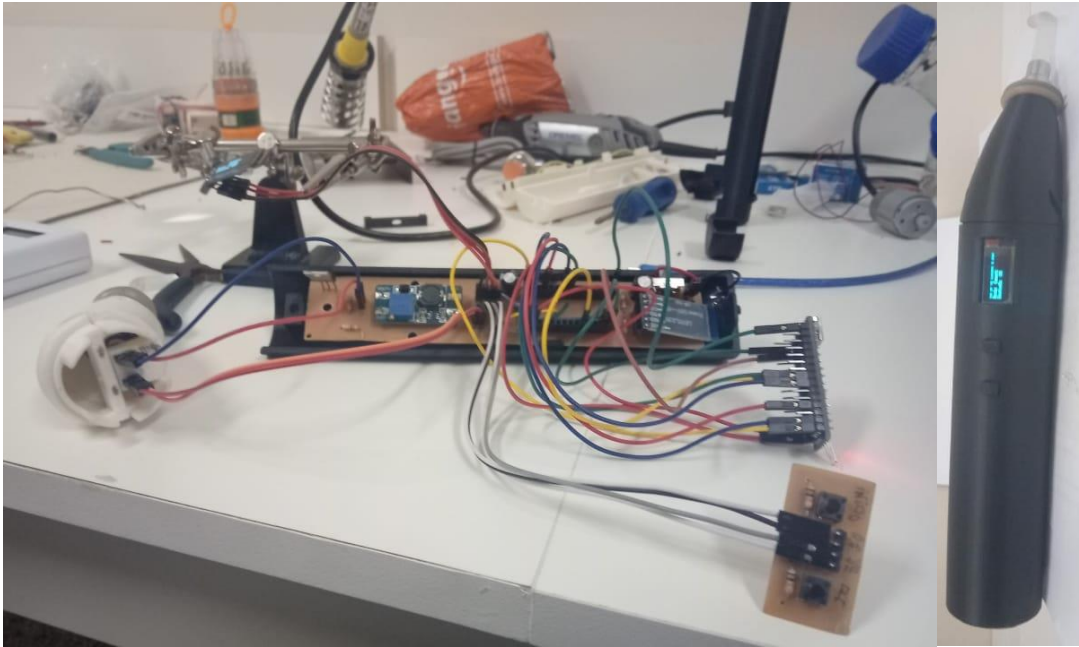
**Figura 8.** Estrutura do projeto com os componentes internos montados no dispositivo.

Conforme previamente descrito, o dispositivo ainda possui uma ponteira de encaixe manual, a partir da qual o operador pode trocar a fonte luminosa, tendo como opções a fonte de luz para fotopolimerização e a fonte de luz para a fototerapia. O detalhe dessa ponteira é ilustrado na Figura 9.



**Figura 9.** Detalhe da troca da fonte luminosa do aparelho.

Para montagem física de um protótipo, foi utilizado o recurso de impressão em 3D utilizando uma impressora do tipo COREXY construída pelo próprio discente, com filamento de *Acrinolitrina Butadieno Estireno* (ABS). Dessa forma, obteve-se uma estrutura física e montou-se os componentes, como apresentado na Figura 10.



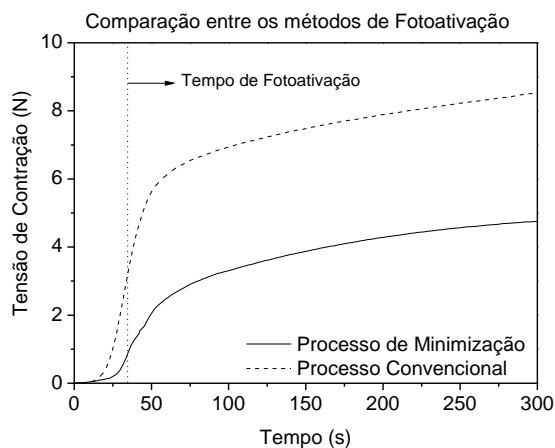
**Figura 10.** Montagem dos componentes e protótipo finalizado.

## 7. RESULTADOS

A tecnologia apresentada nesse trabalho teve sua avaliação de patenteabilidade aprovada pela Agência UNESP de Inovação (AUIN), sendo que foi possível obter um protótipo plenamente funcional, capaz de operar com duas fontes de luz de LED. Ressaltamos que esse protótipo inclusive já está sendo utilizado para atividades de pesquisa, sendo que alguns resultados dessas pesquisas são apresentados na sequência.

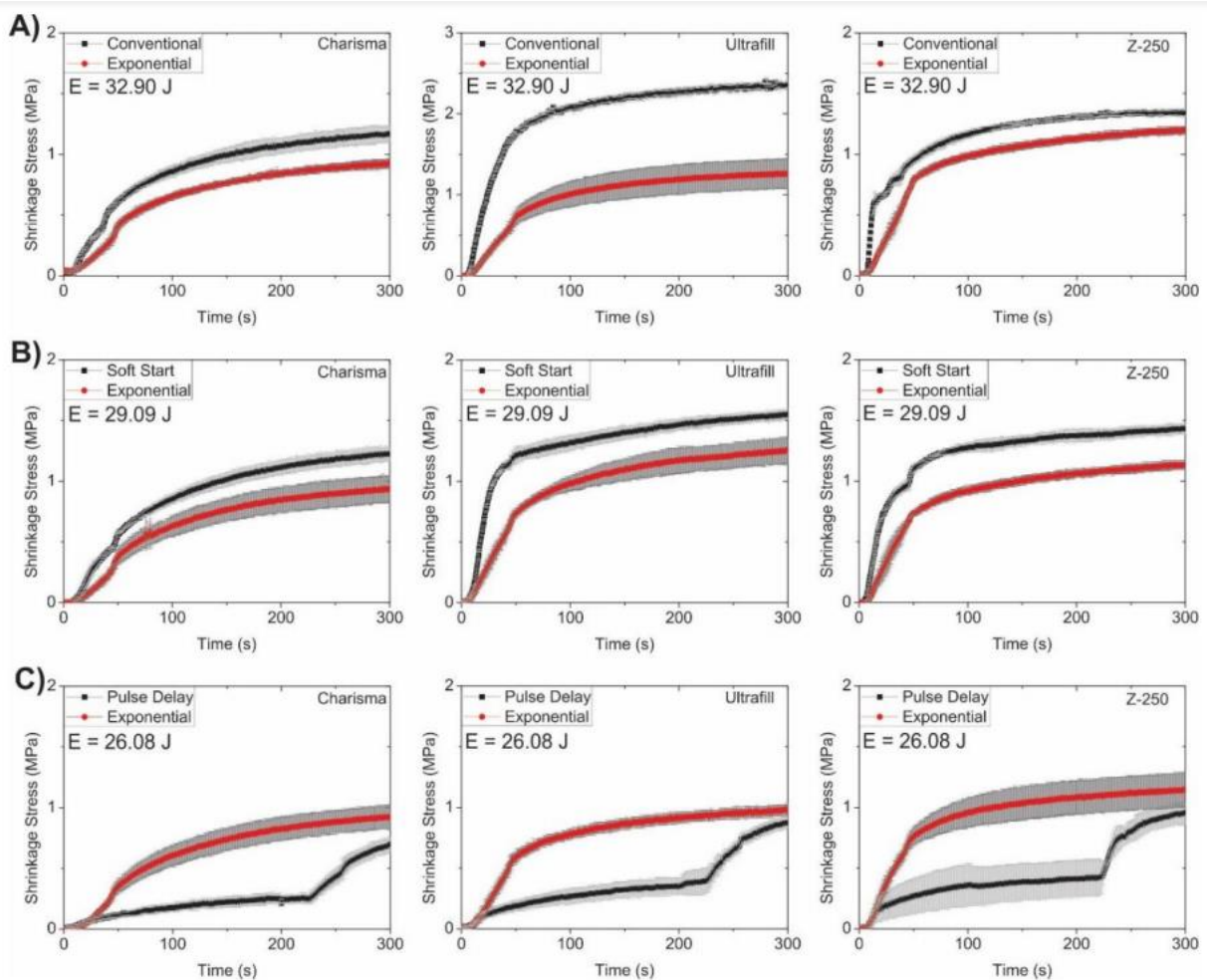
### 7.1. Função de fotopolimerização

As funções de fotopolimerização desse dispositivo já foram avaliadas em testes práticos pelo grupo de pesquisa, em especial uma função otimizada para fotopolimerização das resinas nomeada como função de minimização. Os resultados obtidos mostram que a função de minimização é capaz de reduzir em 45% a tensão de contração em resina composta quando comparada com o método convencional de fotoativação (AFFONSO et al., 2016), conforme ilustrado na Figura 11. Isso ocorre pois o início do processo de polimerização pelo método exponencial se dá com uma baixa irradiância, estendendo a fase pré-gel, fase na qual as moléculas de polímeros podem se deslocar no material em posições para compensar o stress gerado pelo processo de polimerização, e alterando a reação química da polimerização.



**Figura 11.** Curvas de tensão de contração em função do tempo para o método convencional e o método de minimização (ou exponencial) de fotoativação (AFFONSO et al., 2016).

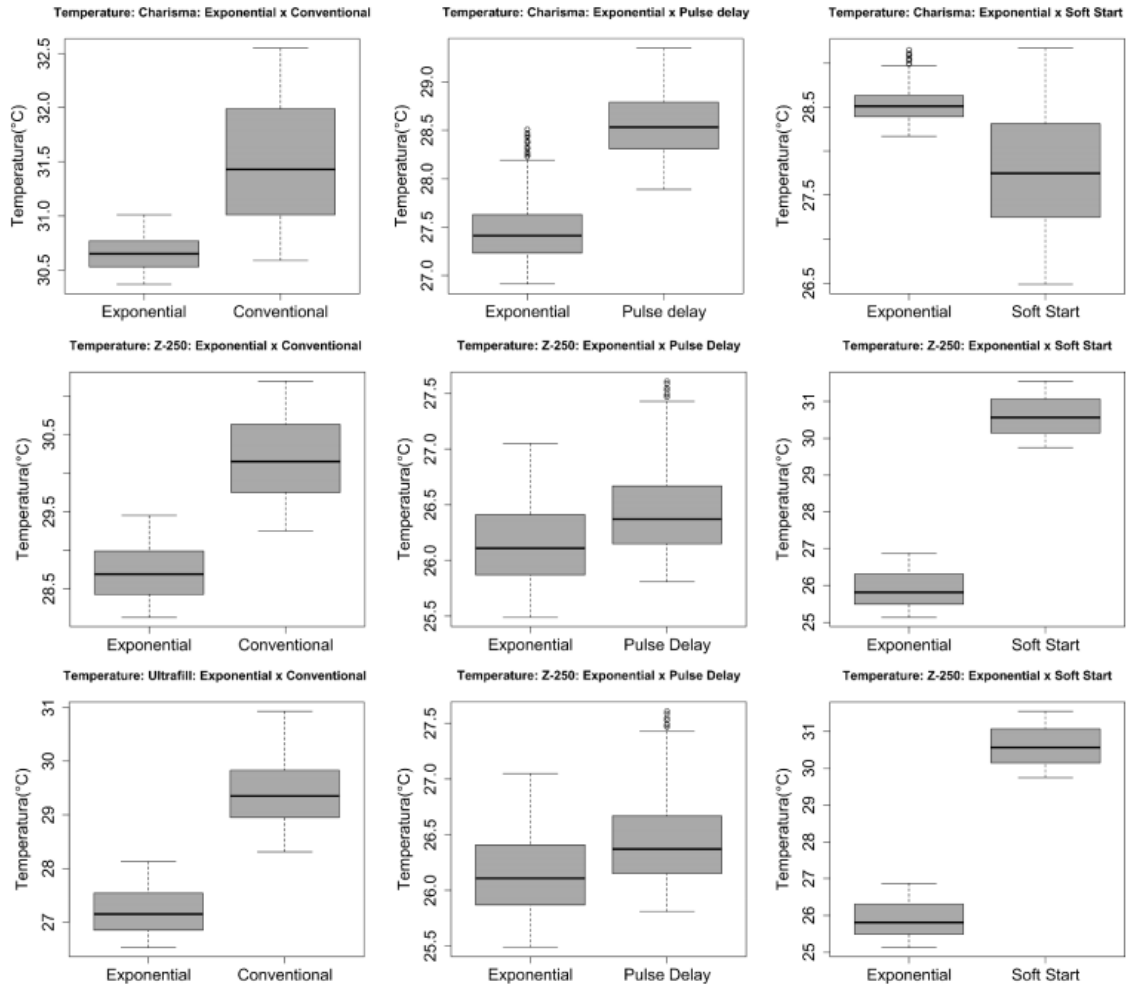
Já o protótipo em si foi utilizado para a polimerização de diferentes resinas disponíveis no mercado (Charisma, Z250 e Ultrafill) em estudo prévio do grupo de pesquisa (SOUSA, 2020). Esse estudo mostrou uma comparação da técnica exponencial de fotoativação e as técnicas clássicas (convencional, *soft-start* e *pulse delay*) Os resultados obtidos com o uso do protótipo novamente mostraram redução de tensão significativa para todas as resinas testadas, conforme ilustrado na Figura 12.



**Figura 12.** Tensão de contração ao longo do processo de cura do compósito comparando o uso de variadas técnicas e resinas (SOUSA, 2020).

Ainda segundo Sousa (2020), no que tange a redução da temperatura abordado em seus estudos, o método exponencial usado nesse invento apresentou variações de

temperatura estatisticamente inferiores. Na Figura 13 são apresentados os resultados obtidos analisando a variação de temperatura nas resinas compostas durante o processo de polimerização.



**Figura 13.** Variação de temperatura ao longo do processo de polimerização, comparando o uso de variadas técnicas e resinas (SOUSA, 2020).

## 7.2. Função de fototerapia

A eficácia da função de fototerapia do dispositivo ainda não foi testada. Ressalta-se que esse tipo de teste requer envolvimento de seres humanos e necessita de prévia autorização pelo Comitê de Ética local. Dessa forma, propomos a avaliação de eficácia da função de fototerapia do dispositivo em estudos futuros por meio de parcerias com grupos de pesquisa da área médica/odontológica.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- AFFONSO, P. H. A. et al. Minimização da contração de polimerização em processos de fotoativação de resinas compostas. **XXXIV International Sodebras Congress**. v. 11, p. 79–82, 2016.
- ARAÚJO, M. C. K. DE; VAZ, F. A. C.; RAMOS, J. L. A. Progress in phototherapy. **Sao Paulo Medical Journal**, v. 114, n. 2, p. 1134–1140, abr. 1996.
- ATAI, M.; WATTS, D. C. A new kinetic model for the photopolymerization shrinkage-strain of dental composites and resin-monomers. **Dental Materials**, Part Special Issue: Wear of Dental Biomaterials. v. 22, n. 8, p. 785–791, 1 ago. 2006.
- AVCI, P. et al. Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin: stimulating, healing, restoring. **Seminars in cutaneous medicine and surgery**, v. 32, n. 1, p. 41–52, mar. 2013.
- BARBOZA, C. A. G. et al. Laser de baixa intensidade induz à proliferação in vitro de células-tronco mesenquimais. **einstein (São Paulo)**, v. 12, n. 1, p. 75–81, 1 mar. 2014.
- BHAMRA, G. S.; FLEMING, G. J. P.; DARVELL, B. W. Influence of LED irradiance on flexural properties and Vickers hardness of resin-based composite materials. **Dental Materials**, v. 26, n. 2, p. 148–155, fev. 2010.
- BUZZÁ, H. H. et al. Photodynamic Therapy Versus Glucose for the Treatment of Telangiectasia: A Randomised Controlled Study in a Rabbit Ear Model. **European Journal of Vascular and Endovascular Surgery: The Official Journal of the European Society for Vascular Surgery**, v. 58, n. 4, p. 583–591, 2019.
- CADENARO, M. et al. The role of polymerization in adhesive dentistry. **Dental Materials**, v. 35, n. 1, p. e1–e22, 1 jan. 2019.
- CARVALHO, M. DE et al. Fototerapia em recém-nascido a termo sem doença hemolítica: revisão de uma prática. **Arq. bras. pediatr**, p. 108–110, 1997.
- CAVALCANTI, T. M. et al. Knowledge of the physical properties and interaction of laser with biological tissue in dentistry. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 86, n. 5, p. 955–960, out. 2011.
- DAMANTE, C. A. et al. Effect of laser phototherapy on the release of fibroblast growth factors by human gingival fibroblasts. **Lasers in Medical Science**, v. 24, n. 6, p. 885, 4 jul. 2008.
- Fotopolimerizador LED 3M™ Elipar™ DeepCure-L**. Disponível em: <[https://www.3m.com.br/3M/pt\\_BR/3m-do-brasil/todos-os-produtos-3m-do-brasil/~/Fotopolimerizador-LED-3M-Elipar-DeepCure-L/?N=5002385+8711017+3290259497&rt=rud](https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/3m-do-brasil/todos-os-produtos-3m-do-brasil/~/Fotopolimerizador-LED-3M-Elipar-DeepCure-L/?N=5002385+8711017+3290259497&rt=rud)>. Acesso em: 16 nov. 2020.

GUIMARÃES, G. F. et al. Minimization of polymerization shrinkage effects on composite resins by the control of irradiance during the photoactivation process. **Journal of Applied Oral Science**, v. 26, 2018.

GUPTA, A.; DAI, T.; HAMBLIN, M. R. Effect of red and near infrared wavelengths on low-level laser (light) therapy induced healing of partial-thickness dermal abrasion in mice. **Lasers in medical science**, v. 29, n. 1, jan. 2014.

HE, J. et al. The effect of adding a new monomer “Phene” on the polymerization shrinkage reduction of a dental resin composite. **Dental Materials**, v. 35, n. 4, p. 627–635, 1 abr. 2019.

KURACHI, C. et al. Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices. **Dental Materials**, v. 17, n. 4, p. 309–315, jul. 2001.

**Laserpulse » Laser de baixa potência » Ibramed: Estética e Reabilitação.** , [s.d.]. Disponível em: <<https://ibramed.com.br/site/equipamentos/laserpulse/>>. Acesso em: 16 nov. 2020

**LED Engin - LZ1-00R402 - 850nm Infra Red 930mW. Solid State Supplies**, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.sssltd.com/product/led-engin-lz1-00r402-850nm-infra-red-930mw/>>. Acesso em: 19 nov. 2020

**LZ1-00DB00.pdf.** , [s.d.]. Disponível em: <<http://www.ledengin.com/files/products/LZ1/LZ1-00DB00.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2020

MAGRO, A. et al. Development of a low-cost colorimeter-like for undergraduate classes using microcontroller board and RGB LED. **Educación Química**, v. 31, n. 1, p. 36-48–48, 6 fev. 2020.

NG, C. W.; LI, J.; PU, K. Recent Progresses in Phototherapy-Synergized Cancer Immunotherapy. **Advanced Functional Materials**, v. 28, n. 46, p. 1804688, 2018.

RIBEIRO, R. A. DE O. et al. Avaliação da intensidade de luz e da manutenção dos aparelhos fotopolimerizadores utilizados em clínicas odontológicas da cidade do Recife-PE. **Revista de Odontologia da UNESP**, v. 45, n. 6, p. 351–355, dez. 2016.

ROELANDTS, R. The history of phototherapy: Something new under the sun? **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 46, n. 6, p. 926–930, 1 jun. 2002.

RUEGGERBERG, F. A. State-of-the-art: Dental photocuring—A review. **Dental Materials**, v. 27, n. 1, p. 39–52, jan. 2011.

SOUSA, G. DOS S. **Desenvolvimento de uma técnica de fotoativação de resinas compostas para minimização dos efeitos do aumento da temperatura em restaurações dentárias.** Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/191849>>. Acesso em: 18 de nov. 2020.

VREMAN, H. J.; WONG, R. J.; STEVENSON, D. K. Phototherapy: Current methods and future directions. **Seminars in Perinatology**, v. 28, n. 5, p. 326–333, 1 out. 2004.

ZHANG, N.; XIE, C. Polymerization shrinkage, shrinkage stress, and mechanical evaluation of novel prototype dental composite resin. **Dental Materials Journal**, v. advpub, 2020.

## 9. PRODUÇÕES CIENTÍFICAS DESTA TECNOLOGIA

**1. Registro de Software (Finalizado):** GUIMARÃES, G. F.; OLIVEIRA JUNIOR, A. J.; RODOKAS, J. E. P.; SIMÕES, R. P.; SOUSA, G. S.. Mdev - System for photopolymerization of dental composite resins. 2020. Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR512020000989-1, data de registro: 16/06/2020, título: "Mdev - System for photopolymerization of dental composite resins", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

**2. Depósito de Patente (Finalizado):** RODOKAS, J. E. P. ; SOUSA, G. S. ; BERTANHA, M. ; SIMÕES, RAFAEL P. ; OLIVEIRA JUNIOR, A. J. . APARELHO ODONTOLÓGICO EQUIPADO COM PONTEIRA COMUTÁVEL PARA FOTOPOLIMERIZAÇÃO DE RESINAS COMPOSTAS OU FOTOTERAPIA. 2020, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020200257897, título: "APARELHO ODONTOLÓGICO EQUIPADO COM PONTEIRA COMUTÁVEL PARA FOTOPOLIMERIZAÇÃO DE RESINAS COMPOSTAS OU FOTOTERAPIA, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 16/12/2020.

**3. Artigo científico (Em andamento):** CESARINO, I.; LEAO, A. L.; GUIMARÃES, G. F.; MARCELINO, E.; MOHAMMAD, A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. J.; RICCARDI, C. S.; RODOKAS, J. E. P.; SIMÕES, R. P.; SOUSA, G. S.. Shrinkage stress and temperature variation in composite resins under different photoactivation methods: insights for standardization of the photopolymerization. Journal of Applied Oral Science.

## **10. OUTRAS PRODUÇÕES DURANTE A PÓS-GRADUAÇÃO**

**1. Artigo publicado (Finalizado):** ALMEIDA, A. L. M.; PERGER, E. L. P.; GOMES, R. H. M.; SOUSA, G. dos S.; VASQUES, L. H.; RODOKAS, J. E. P.. Objective evaluation of immediate reading skin prick test applying image planimetric and reaction thermometry analyses. J Immunol Methods 2020:112870. <https://doi.org/10.1016/j.jim.2020.112870>.

**2. Depósito de Patente (Em andamento):** RODOKAS, J. E. P.; CELESTRIN, S. F.; PARDINI, M. I. M. C.. Dispositivo portátil para exercícios funcionais. 2020, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: Ainda não depositado. Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.