

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC  
CENTRO DE ENGENHARIA, MODELAGEM E CIÊNCIAS SOCIAIS  
APLICADAS

Carolina de Fátima Daneluci

**PROPOSTA DE DISPOSITIVO PARA CLAREAMENTO DENTAL BASEADO  
NO USO DE LED VERDE**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carolina de Fátima Daneluci', with a stylized flourish at the end.

São Bernardo do Campo – SP

2017

Carolina de Fátima Daneluci

PROPOSTA DE DISPOSITIVO PARA CLAREAMENTO DENTAL BASEADO  
NO USO DE LED VERDE

Trabalho de Graduação III apresentado ao Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do ABC como requisito para conclusão do curso de Engenharia Biomédica. Linha de pesquisa: instrumentação biomédica, biofotônica.

Orientadora: Prof. Dr. Patrícia Aparecida da Ana

Co-orientador: Prof. Dr. Erick Dario León Bueno de Camargo

São Bernardo do Campo – SP

2017

**Carolina de Fátima Daneluci**

**PROPOSTA DE DISPOSITIVO PARA CLAREAMENTO DENTAL BASEADO  
NO USO DE LED VERDE**

Esse trabalho de Graduação foi julgado e aprovado para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Biomédica pelo Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do ABC.

São Bernardo do Campo - SP, 5 de dezembro de 2017

Prof. Dr. Ana Paula Romani

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Patrícia Aparecida da Ana  
Orientadora

---

Prof. Dr. Erick Dario León Bueno de Camargo  
Co-orientador

---

Prof. Dr. Diogo Soriano Coutinho  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

---

Prof. Dr. Carolina Benetti  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

## RESUMO

Clareamento dental é um procedimento estético comum e que pode influenciar muito na autoestima do paciente. Atualmente existem protocolos distintos, com géis de diferentes concentrações, diferentes fontes de luz (lâmpada halógena, LED e laser) com diferentes potências e diferentes comprimentos de onda. Géis que possuem coloração avermelhada absorvem mais luz no comprimento de onda na região do verde. Desta forma, levando-se em consideração que o LED é uma fonte de luz acessível e que possui menores chances de superaquecer a polpa dentária, o trabalho visou criar a proposta de um dispositivo de clareamento dental baseado no uso de LEDs verdes e com controle de potência selecionada pelo profissional a partir do Arduino. Os LEDs foram testados quanto ao comprimento de onda emitido e sua variação de potência luminosa em relação à variação de corrente e, então um circuito foi montado tal que as potências pudessem ser selecionadas. Apesar das dificuldades em encontrar as resistências necessárias para que a potência de emissão fosse exatamente a desejada, concluiu-se que é possível criar um dispositivo para clareamento a base de LEDs e que este possuiria baixo custo de construção. Há pontos a serem desenvolvidos na parte elétrica, energética e de design que são necessárias para que este projeto se torne um produto.

Palavras-chave: clareamento, LED, peróxido de hidrogênio.

## **ABSTRACT**

Dental bleaching is a very common esthetical procedure and that can influence the patient's self-esteem. Currently, there's a variety of protocols, with different concentration gels, different light sources (halogen lamp, LED, laser) with different powers and wavelengths. Reddish gels absorb better light in the green wavelength area. Thus, and considering that LED is a cheap light source and with less chances of overheating the dental pulp, this project aimed the creation of a proposal for a tooth bleaching device based on the green LEDs usage and with a power control selected by the professional. The LEDs had tests about the emitted wavelength, light output variation due to current variation, and then the circuit was built in a way that the output could be selected. Despite the difficulties in finding the necessary resistance values so the output power would be exactly the desired, it was concluded that it's possible to create a bleaching device based on LEDs and that it would be a low cost solution. There are parts to be developed about the electrical and design features, so this project can become a product.

Key-words: bleaching, LED, hydrogen peroxide

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àqueles que me deram todas as condições para que isso fosse possível: meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Como não poderia ser diferente, começo agradecendo aos meus pais, Silvia e Paulo, minha irmã, Isabela, e meu cunhado, Ícaro, que foram meu suporte durante estes longos anos. Sempre me mostraram o valor da educação e me deram a estrutura necessária para chegar até aqui. Apesar das adversidades que surgiram, me mantiveram forte e confiante e eu devo tudo a eles.

À minha orientadora, Profa. Dra. Patrícia Aparecida da Ana, pela inspiração de ser uma mulher fantástica, por suas aulas que me cativaram, por todo suporte e apoio, e por compartilhar comigo tanto conhecimento desde meus primeiros anos na UFABC.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Erick Dario León Bueno de Camargo, por ser sempre tão solícito e paciente, me auxiliando e compartilhando muito conhecimento para que este trabalho fosse possível. E também ao Prof. Dr. Olavo Luppi Silva, que nos auxiliou na esquematização do circuito.

Às minhas primas Gabriela e Débora e à minha amiga Claudia, por me acompanharem durante toda a vida, me oferecendo ajuda imediata e risadas que aliviaram esta jornada. Agradeço também a meu amigo Gabriel, que muito me ensinou, ao me acompanhar durante toda a graduação, me agregando muito nos estudos, bem como na minha formação de caráter e personalidade.

A todos meus colegas da Escola Preparatória da UFABC, principalmente a meu coordenador Leonardo José Steil e todos os gestores, por me fazerem crescer como professora, como gestora, como ser humano.

A todos meus colegas da Medtronic, em especial a meu gestor Almir Ferrer, por sempre oferecerem apoio e suporte para que minha graduação fosse levada da melhor forma possível. Tem sido um grande aprendizado sobre diversas tecnologias para saúde.

Muito obrigada a todos!

## ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 Anatomia e cor dental.....	12
3.2 Gel clareador.....	14
3.4 Interação Luz-Tecido.....	14
3.4 Fontes de luz.....	15
3.6 Clareamento dental com uso de luz .....	16
4 METODOLOGIA .....	19
4.1 Revisão Bibliográfica .....	19
4.2 Teste de LEDs.....	19
4.1.1 Comprimento de onda.....	19
4.1.2 Potência luminosa.....	20
4.3 Montagem do protótipo.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
5.1 Teste dos LEDs.....	23
5.1.1 Comprimento de onda.....	23
5.1.2 Potência luminosa.....	24
5.2 Montagem do protótipo.....	26
6 CONCLUSÃO .....	28
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
8 APÊNDICE .....	32



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países mais preocupados com seu sorriso. Além de procurar saúde, há um grande interesse por um sorriso que seja esteticamente agradável. O Brasil é o segundo colocado no mundo a investir em odontologia estética. Dentre os procedimentos mais procurados, encontra-se o clareamento dental, ocupando a segunda posição da lista [1].

Muitos fatores, hábitos e substâncias podem alterar a coloração dos dentes, criando manchas ou escurecendo-os. As causas podem ser intrínsecas (relacionadas às propriedades ópticas da dentina e do esmalte) ou extrínsecas (associadas à adsorção de substâncias ao esmalte) [2].

Algumas das causas intrínsecas são problemas congênitos, idade, fluorose e reabsorção da gengiva. Já alimentos e bebidas que são consideradas como causas extrínsecas são chá, café, vinho tinto, shoyu, molhos escuros, beterraba, morango, entre outros [3].

O procedimento de clareamento dental pode ser feito de diversas formas. O tratamento pode ser realizado em casa, com o uso de cremes dentais encontrados em qualquer farmácia ou uso de gel clareador de menor concentração de peróxido de hidrogênio e moldeira previamente confeccionada pelo cirurgião-dentista. Certos tratamentos só ocorrem em consultório odontológico, como o polimento para remoção de manchas e biofilme mineralizado, microabrasão do esmalte e o uso de gel clareador de maior concentração de peróxido de hidrogênio (clareamento *in office*) combinado ou não com luz (laser, LED ou lâmpada halógena) [4].

No mercado, muitos produtos com uso de luz visam otimizar a catalisação o gel. Dentre estes, pode-se observar diferentes potências e comprimentos de onda de emissão, além das diferentes fontes de luz. Por exemplo o WhiteningLase Light Plus (DMC, Brasil) que possui pico de emissão em  $450 \pm 10$  nm (azul) e potência máxima de  $390 \text{ mW} \pm 20\%$  ou  $808 \pm 10$  nm (infravermelho) e potência de  $100 \text{ mW} \pm 20\%$ ; Brite Laser Max (Clean Line, Brasil) com emissão de 780 a 808 nm (infravermelho) com potência de 100 mW ou emissão de 654 a 662 nm (vermelho) e potência de 45 mW; o WhiteningLase II (DMC, Brasil) possui pico de  $470 \pm 10$  nm (azul) e 808

nm(infravermelho) e irradiância de 300 mW/cm<sup>2</sup>; o TF Premier (MMO, Brasil), composto por LEDs de alta potência, com pico de 455 ± 20 nm (azul).

Há controvérsias entre estudos que mostram que a eficácia do sistema pode ou não ser melhorada com a fotoativação do gel utilizado. As metodologias utilizam diferentes géis e diferentes fontes de luz e nem sempre a melhora na eficácia é notada [5].

## 2 OBJETIVOS

Observando-se as diferenças entre métodos de clareamento dental *in-office*, e observando-se que géis vermelhos são catalisados mais rapidamente quando a fonte de luz é verde, este trabalho visa criar uma proposta de um dispositivo para clareamento dental de baixo custo, utilizando LEDs verdes e controle feito por Arduino, dando ao profissional opções de potência luminosa.

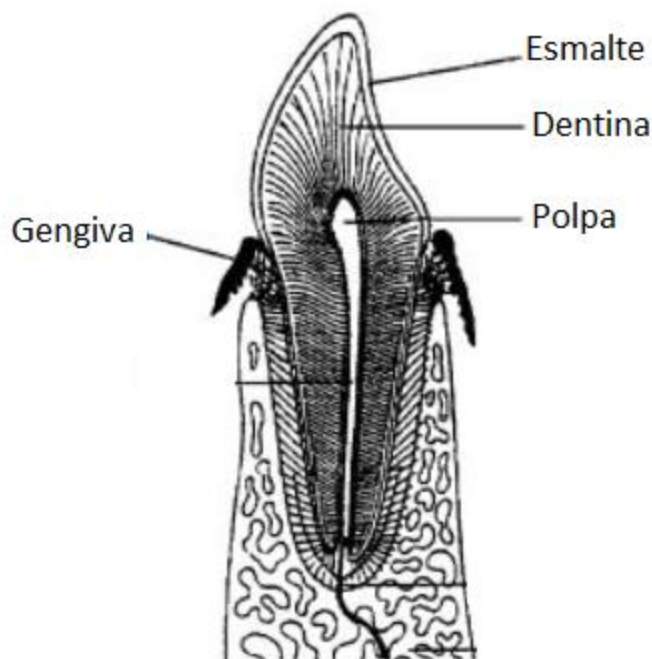
### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Anatomia e cor dental

O dente humano pode ser dividido em 4 tecidos principais: esmalte, dentina, cemento e polpa. A maior parte do dente é composto pela dentina, que é um tecido semelhante ao osso, porém especializado e formado majoritariamente por colágeno, minerais, hidroxiapatita e água. Envolvida pela dentina encontra-se a polpa. Nesta, há vascularização e terminações nervosas, diferentemente da dentina e do esmalte [6,7]. O aumento da temperatura na polpa é algo preocupante, visto que pode ocasionar reações inflamatórias, além de estase e trombose [8,9].

A dentina é recoberta por um tecido chamado esmalte. O esmalte é composto quase que totalmente por grandes cristais de apatita compostos por sais de cálcio, cobrindo toda a coroa dental, até o início da raiz [6,7].

Figura 1 – Estrutura do dente.



Fonte: NIEMZ, 2007 (Modificado).

A cor do dente baseia-se nas características da dentina e é atenuada pelo esmalte. A cor do dente é avaliada por métodos comparativos,

com amostras de papel, resina ou cerâmica que simula diferentes cores de dentes, como na Figura 2. Trata-se de um método subjetivo que depende de fatores como iluminação, experiência do profissional e cansaço de seus olhos [3,10].

Figura 2–Escala de cor dental Vita 3D-Master Wilcos.



Fonte: <https://www.wilcos.com.br/vita/linear>. Disponível em 07/11/17.

A cor do dente pode ser alterada por fatores intrínsecos e extrínsecos. Fatores intrínsecos são referentes à estrutura do tecido duro que compõe o dente e geralmente são consequências ao metabolismo do paciente. Algumas doenças alteram a produção de algumas enzimas, o que altera a cor do dente, como alcaptonúria (dentes ficam com coloração marrom), porfiria eritropoiética congênita (dentes marrom-avermelhado), hiperbilirrubinemia (dentes amarelo-esverdeado), amelogenese imperfeita (dentes marrom-amarelado), além de síndromes sistêmicas, idade, hipoplasiado esmalte e reabsorção da raiz [3,10].

Fatores extrínsecos são colorações causadas por depósito de substância sobre o esmalte do dente ou por reações químicas ocorridas na superfície do dente. São causados por hábitos [3]. Os fatores extrínsecos podem ser metálicos, que ocorre quando há exposição a sais metálicos que podem estar contidos em remédios e suplementos. Cada sal metálico pode

causar manchas de determinada cor. E as causas não-metálicas são causadas por algumas bebidas, tabagismo, uso de certas drogas e alimentos [3].

### **3.2 Gel clareador**

O clareamento dental baseia-se no uso de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e peróxido de carbamida ( $CH_6N_2O_3$ ), geralmente em gel. As concentrações utilizadas podem variar de acordo com o uso. Por exemplo, para uso caseiro, as concentrações são mais baixas, indo de 1,5 a 10% para o  $H_2O_2$  e 10 a 15% para o  $CH_6N_2O_3$ . Já quando o uso é feito em consultório, as concentrações são maiores, sendo 30 e 37% para o  $H_2O_2$  e 23, 35 e 37% para o  $CH_6N_2O_3$  [11].

O peróxido de carbamida é composto por peróxido de hidrogênio e ureia. Desta forma, uma concentração de 10% de peróxido de carbamida é equivalente a 3,6% de peróxido de hidrogênio. Por conta da ureia, que será decomposta e formará amônia, a acidez do gel de  $CH_6N_2O_3$  é maior que o gel de  $H_2O_2$  [12,13]. O pH do gel pode influenciar nas chances de haver hipersensibilidade dental pós-clareamento, sendo que, quanto mais ácido o gel, maiores as chances [14]. Os géis mais comuns no Brasil são avermelhados, como o Whiteness HP (FGM, Brasil) e o Opalescence XtraBoost (Ultradent, EUA).

### **3.4 Interação Luz-Tecido**

Cada material possui propriedades específicas que promoverão a interação diferentemente com a luz. Ao tratar de tecidos biológicos, é possível observar 5 fenômenos principais: absorção, transmissão, reflexão, refração e espalhamento. As propriedades do tecido (moléculas encontradas – cromóforos - e sua concentração) definem qual será o fenômeno predominante, dependendo do comprimento de onda da luz incidente [15].

Quando a luz incidente retorna ao mesmo meio de incidência ao encontrar uma superfície, significa que houve reflexão. Isso ocorre pois os índices de refração dos meios são muito diferentes. Se a radiação é atenuada em contato com o tecido, diz-se que a luz foi parcialmente ou totalmente

absorvida pelo meio, ou houve espalhamento. Quando a luz é absorvida, diversas reações podem ocorrer, como reações fototérmicas, por exemplo. Ao contrário, a transmissão consiste na não atenuação da luz pelo meio e é muito importante para casos em que a luz seja necessária em tecidos mais profundos, já que não podem ser absorvida logo na superfície. Por fim, em alguns casos a luz tem seu trajeto afetado pelas partículas dentro do tecido, sendo absorvida em regiões distintas da região de incidência, e a esse fenômeno dá-se o nome de espalhamento. [15,16]

Enquanto a absorção é indesejada quando a luz é utilizada para fins diagnósticos – posto que a energia luminosa absorvida signifique informação perdida na imagem –, no clareamento dental, esta se torna o principal fenômeno, pois deve ser totalmente absorvida pelo gel clareador. Ao utilizar luz em um dente vital, há grandes preocupações quanto à absorção dos fótons pela polpa e pelos tecidos periodontais. Sabe-se que uma elevação de temperatura em torno de 5,5 °C e 11 °C são suficientes para ocasionar inflamação na polpa e periodonto, respectivamente [7]. Por esta questão, é desejável que o comprimento de onda da luz e potência da fonte sejam adequados de modo a serem absorvidos ao máximo pelo gel clareador e/ou pelo esmalte, pois se a luz for transmitida ou espalhada até a polpa e lá ocorrer absorção, haverá aumento na temperatura do local onde há a vascularização do dente [7].

### **3.4 Fontes de luz**

Três fontes são comumente utilizadas para clareamento dental: lâmpada halógena, LED e laser. Cada uma possui suas particularidades. A lâmpada halógena é feita com um filamento de tungstênio contido em meio a iodo ou bromo (substâncias halógenas). Em alguns estudos, a lâmpada halógena mostrou o maior aumento de temperatura na polpa do dente [8,9,17].

O laser (luz amplificada por emissão estimulada de radiação ou *light amplification by stimulated emission of radiation*) possui características bem distintas. Sua estrutura consiste em um cristal (meio ativo) em uma cavidade de ressonância sobre o qual há uma descarga energética que causa inversão de população (quantidade de átomos em estado excitado maior que em estado

fundamental). De acordo com a emissão estimulada postulada por Einstein, o átomo excitado pode produzir fóton idêntico ao que incidiu sobre ele. Desta forma, o laser é caracterizado pela sua luz monocromática (comprimento de onda único), colimada (ondas unidirecionais e paralelas) e coerente (as ondas estão em fase no tempo). Os lasers utilizados para clareamento dental são os de argônio, CO<sub>2</sub>, diodo, alexandrita e Nd:YAG [18].

Já o LED (diodo emissor de luz ou *light emitting diode*) é um diodo semicondutor com junções p-n, ou seja, dois cristais semicondutores dopados de forma que um é positivo (com lacunas) e outro é negativo (com elétrons). Na parte central da junção há uma barreira de potencial. Ao conduzir eletricidade, o diodo é excitado e emite luz. O comprimento de luz depende dos materiais utilizados em sua construção. Neste trabalho, utilizou-se o LED de GaAlInP/GaAs que fora criado no fim dos anos 80. É atualmente o sistema mais utilizado para LEDs de alto brilho e o comprimento de onda é definido a partir da energia da barreira de potencial [19].

### **3.6 Clareamento dental com uso de luz**

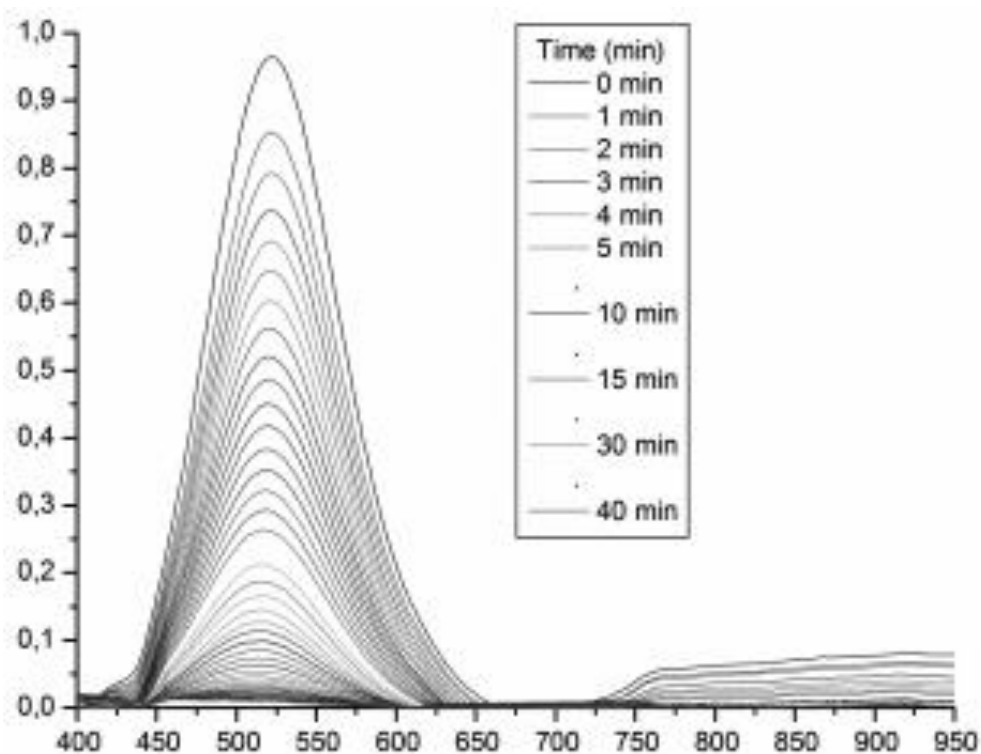
Tanto o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> quanto o CH<sub>6</sub>N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> funcionam com mecanismo semelhante. Estes oxidam cromóforos que causam a variação na cor do dente. Em alguns casos, o gel é fotoativado, visto que a energia da fonte de luz é cedida ao gel a fim de aumentar a catálise dos compostos para liberação de oxigênio [20]. A energia luminosa será suficiente para este fenômeno dependendo do comprimento de onda da fonte de luz, pois uma melhor absorção da luz pelo gel, maiores as chances de haver otimização da catálise do gel e menor chances de absorção pela polpa. O mais comum comercialmente é o método que utiliza o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> com fonte de luz em torno do azul [21]. O procedimento pode ser feito sem aplicação de luz, mas o uso de LED, laser ou luz halógena pode aumentar a eficácia do tratamento, ainda que de forma limitada [5,22,23].

Além do tipo de fonte de luz, o comprimento de onda é uma característica importante a se considerar. No caso de gel clareador vermelho a base de peróxido de hidrogênio, o LED da cor verde (530 nm, 32 mW) possui coeficiente de absorção de 4,2 cm<sup>-1</sup>, enquanto o LED azul (410 nm, 115 mW)



possui coeficiente de  $2,4 \text{ cm}^{-1}$ . Sendo assim, apesar das fontes de luz comercializadas serem em sua maioria azul, o verde é melhor absorvido pelo gel clareador, sendo mais eficiente na sua fotoativação [16,23].

Figura 3 – Comprimento de onda *versus* densidade óptica de gel avermelhado (Whiteness).



Fonte: KABBACH *et al.*, 2008.

Isso dá-se ao fato de o betacaroteno (maior constituinte do espessante destes géis clareadores) ter uma intensa banda de absorção na região do verde e esta propriedade é muito importante, pois o aumento de temperatura se localiza na superfície do dente, impedindo propagação de calor para os tecidos vitais, isto é, polpa e tecidos periodontais, o que poderia ocasionar aumento da sensibilidade [22].

Outro estudo comparou o uso de LED azul (670 nm, 500 mW) e LED verde (530 nm, 500 mW) e concluiu que, nestes parâmetros, o LED azul foi melhor para reduzir tons amarelados ou avermelhados dos dentes [24].

O LED verde possui comprimento de onda e mostrou eficácia semelhantes ao laser de Argônio (514 nm) e o KTP (532 nm), mas com o menor aumento de temperatura em comparação a todas outras fontes de luz e

todos outros comprimentos de onda. Vale ressaltar que os lasers supracitados são lasers que operam em alta intensidade, ou seja, necessariamente induzem a efeitos fototérmicos nos tecidos, diferentemente dos LEDs, que operam majoritariamente em baixa intensidade. Ademais, o LED é menos custoso, se comparado ao laser [25].

Um estudo que buscou comparar o laser de KTP (532 nm, 1 W), um laser de diodo (980 nm, 1 W), e um LED (470 nm, sem especificação de potência), mostrou que o laser de diodo causou o maior aumento de temperatura na polpa, pois este não é totalmente absorvido pelo gel (Hi-Lite, Japão) e pelo esmalte do dente (por tratar-se de um laser emitido na região do infravermelho próximo, que tem baixo coeficiente de absorção no esmalte), sendo transmitido para os demais tecidos, enquanto o LED azul causou o menor aumento de temperatura. Enquanto isso, os três obtiveram resultados satisfatórios no clareamento, sendo que o laser de KTP obteve o melhor resultado de clareamento [26].

Baseando-se em estudos anteriores que mostravam o LED verde como uma fonte de luz adequada para o clareamento dental, um protocolo criado fez uso de 3 LEDs verdes (530 nm) com 60 mW cada, totalizando uma potência de 180 mW. A luz foi irradiada sobre gel clareador vermelho a base de peróxido de hidrogênio e mostrou maior interação que as fontes de luz no azul, sem promover superaquecimento da polpa dentária e com um custo inferior a lasers [27].

Em cada estudo, uma potência diferente é utilizada, o que gera resultados diferentes e faz-se necessário um estudo que observe diferentes potências para o LED verde, a fim de encontrar uma potência ótima que tornará o procedimento mais efetivo sem elevar a temperatura do dente a ponto de causar danos ao paciente.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Revisão Bibliográfica**

O trabalho iniciou-se a partir de revisão bibliográfica que buscou compreender quais fontes luminosas seriam estudadas, bem como compreender como a iluminação feita com LED verde seria feita. Configurações do sistema (como tipo de fonte de energia) e parâmetros escolhidos (como a potência luminosa) foram comparados aos diferentes estudos da literatura, bem como o resultado de comparativos entre diferentes fontes de luz.

A revisão baseou-se na busca por artigos nos sites como Pubmed, a página de periódicos da CAPES e a biblioteca da UFABC.

### **4.2 Teste de LEDs**

#### *4.1.1 Comprimento de onda*

Foram testados seis LEDs verdes de alto brilho L-513VG3C (Paralight, Taiwan) com as seguintes especificações:

- Comprimento de onda: 570 nm;
- Material do diodo: GaAlInP/GaAs;
- Tensão limite: 2,8 V;
- Corrente limite: 30 mA;
- Temperatura operacional: -40°C a 85°C.

Com o uso do espectrômetro USB-650 Red Tide Spectrometer (OceanOptics, EUA), analisou-se o espectro de emissão dos LEDs e comparou-se os resultados para entender se haveria diferença significativa de um LED a outro e, assim, saber com que comprimento de onda se trabalhou.

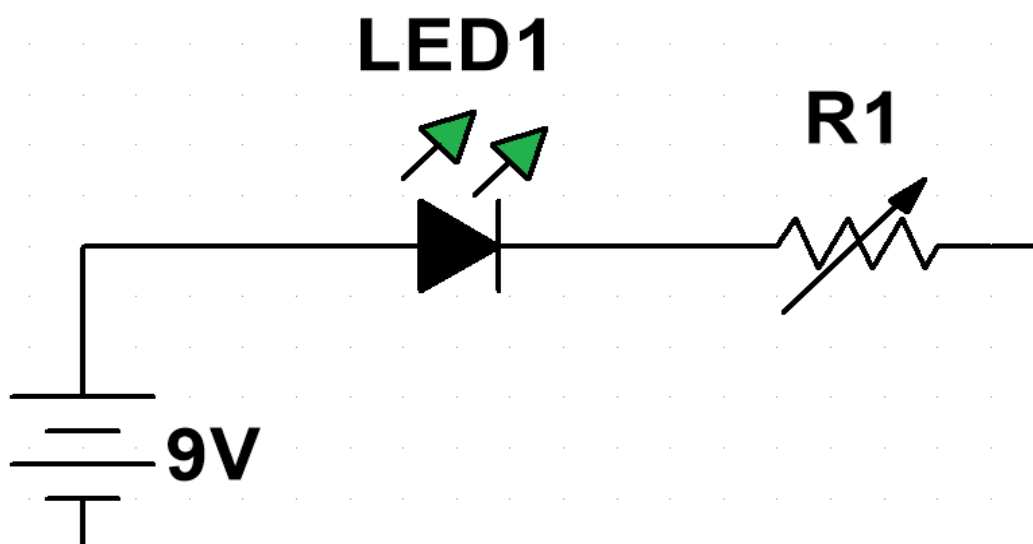
Os dados foram compilados em gráfico a partir do software Matlab.

#### 4.1.2 Potência luminosa

Um LED selecionado aleatoriamente foi testado a partir do circuito descrito na Figura 4. Um multímetro digital (ET-1100A Minipa) na função amperímetro foi posicionado em série com o LED e o medidor de potência FieldMax II Top (Coherent, EUA) foi posicionado próximo ao LED. O potenciômetro iniciou no seu ponto de maior resistência (500  $\Omega$ ) e foi manuseado para que a resistência diminuísse e a corrente aumentasse, enquanto a potência e a corrente eram anotadas a cada variação. Repetiu-se este processo até que a potência do LED ficasse instável.

O teste foi repetido ao final da montagem do circuito para que se descobrisse a potência luminosa do protótipo.

Figura 4 – Circuito de testes de variação de corrente *versus* variação de brilho.



Fonte: acervo pessoal.

A partir da tabela gerada com os resultados, calculou-se qual a resistência do potenciômetro em cada medida com a relação:

$$R = \frac{V_{bateria} - V_{LED}}{I_{LED}} \quad (1)$$

e então, por interpolação, calculou-se qual corrente e resistência necessárias para que obter as potências desejadas.

### 4.3 Montagem do protótipo

O protótipo foi desenhado a partir do programa Schemelt do Digikey (<https://www.digikey.com/schemeit/project/>) e montado em *protoboard* com uso de fonte contínua de energia, os LEDs descritos no item 4.1, Arduino nano, transistores BC337, um botão *push-button* táctil e diversas resistências.

Como a revisão de literatura mostrou grandes variações de potência de luz entre os estudos, concluiu-se que a potência do dispositivo deveria ser configurada pelo usuário. Para isso, fez-se uso de Arduino, que controla a potência luminosa do dispositivo a partir da escolha do profissional. A escolha é feita pelo botão táctil e o dispositivo permanece ligado por três minutos.

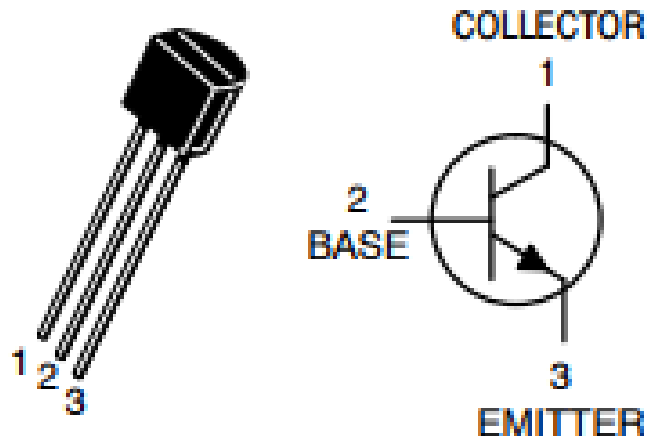
Sabendo-se a corrente necessária para as potências desejadas, relacionou as resistências necessárias a transistores. Estes foram conectados ao Arduino e, ao apertar o botão, um dos transistores seria ativado, passando a corrente apenas pela resistência desejada.

O botão *push-button* táctil foi selecionado como a forma de controle do usuário. O botão possui as posições HIGH (pressionado) e LOW (solto). Quando em LOW, o botão funciona como um circuito aberto, impedindo passagem de corrente. Essa mudança é lida pelo sistema para ativar suas funções.

No caso, a leitura do botão serviu para seleção de um dos transistores. O transistor utilizado é composto pelo coletor, pela base e pelo emissor (Figura 5). Cada coletor foi conectado aos LEDs e às suas respectivas resistências, cada base foi conectada a uma entrada digital do Arduino e os emissores foram conectados ao terra do Arduino. Ao apertar o *push-button*, cada um dos transistores é ativado para selcionar por qual(s) resistência(s) a corrente passará.

Os transistores foram utilizados em série, como um transistor Darlington, para que houvesse ganho de corrente, visto que o circuito envolvia diferentes componentes e todos alimentados por uma mesma fonte (exceto o Arduino).

Figura 5 -Transistor BC337.



Fonte: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BC337-D.PDF>. Acessado em: 08/11/17.

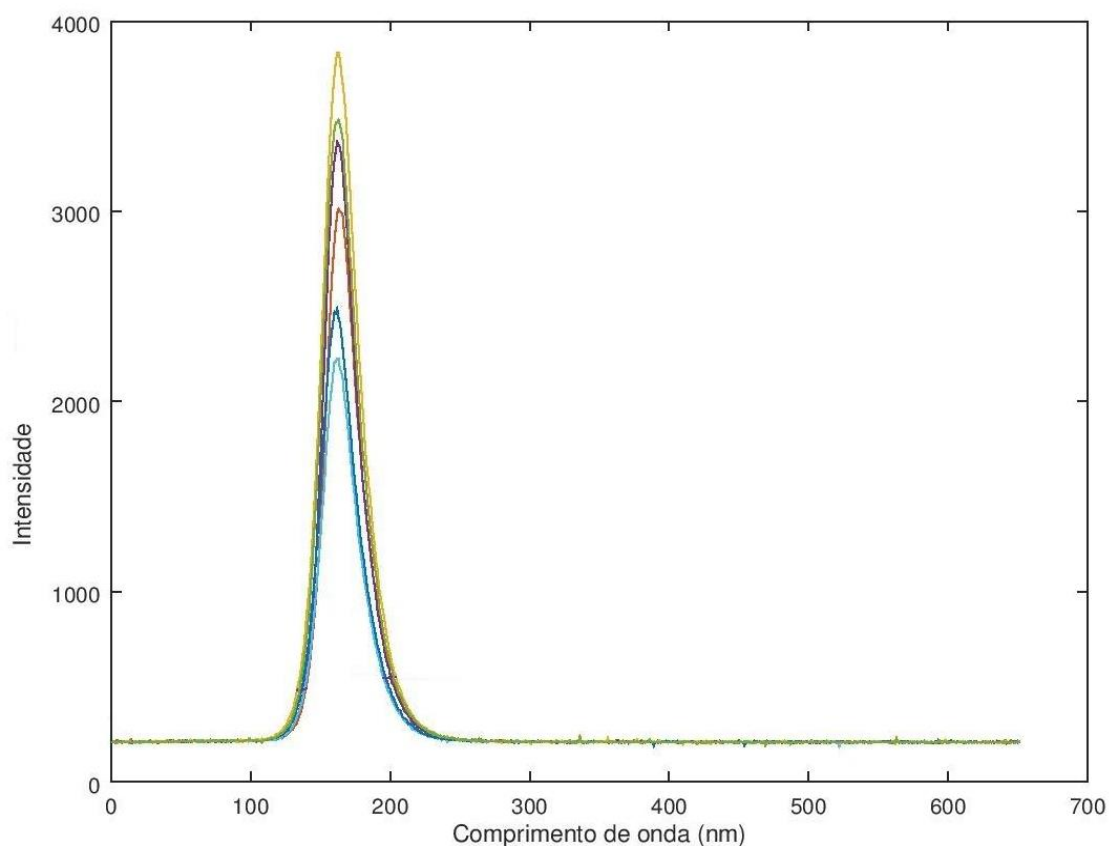
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Teste dos LEDs

#### 5.1.1 Comprimento de onda

Os LEDs testados mostraram um pico de emissão similar sendo que dois tiveram pico em 512 nm, enquanto 4 tiveram pico em 511 nm, conforme pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 - Comprimento de onda *versus* Intensidade dos 6 LEDs utilizados.



Fonte: acervo pessoal.

Apesar do comprimento de onda observado estar distante do especificado em seu datasheet, os LEDs possuem comprimento de onda próximo um dos outros.

### 5.1.2 Potência luminosa

A partir dos parâmetros observados nos produtos comercializados, observa-se que a potência varia dependendo da marca e nos casos estudados durante a revisão bibliográfica, observa-se que o comprimento de onda utilizado para os estudos foram de 530 nm, mas com potências que variaram de 32 a 500 mW. Desta forma, para que o protótipo possa ser utilizado em diferentes estudos, o protótipo foi composto 6 LEDs com pico de emissão em torno de 511 nm e com potência que varia de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1 - Potência luminosa relacionada a cada corrente e resistência necessária.**

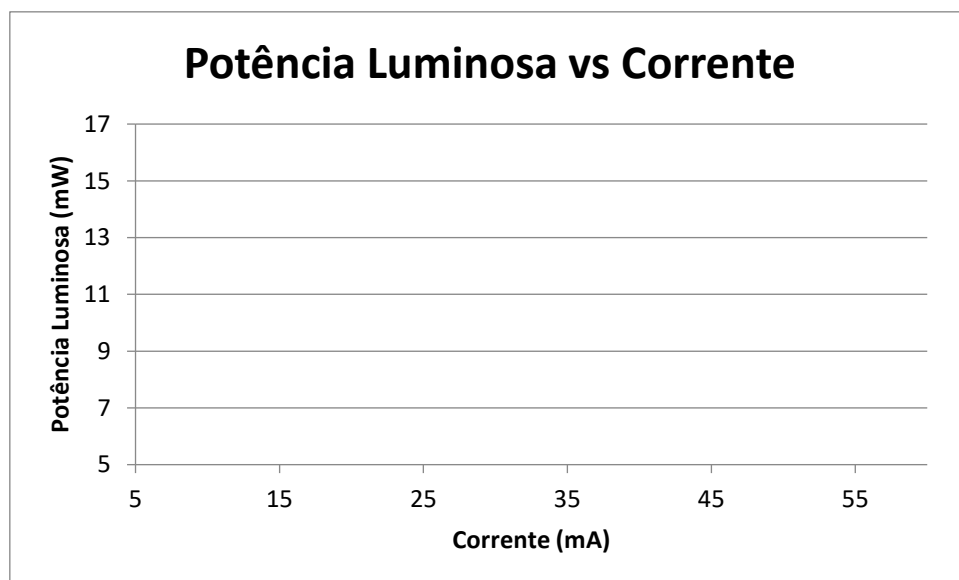
Potência (mW)	Corrente (mA)
5,33	9,93
5,40	10,15
5,65	11,22
6,16	11,83
6,84	12,61
7,17	13,35
7,52	14,18
8,56	18,13
9,88	23,34
10,93	27,11
11,69	30,28
12,56	34,08
13,76	39,94
14,92	46,40
16,09	54,66

Fonte: acervo pessoal.



Observando a capacidade dos LEDs e a variação de potências encontradas na literatura, decidiu-se por ter as opções de 45, 60 e 90 mW. Para a potência de 45 mW, a corrente deve ser de 14,14 mA, para a potência de 60 mW, a corrente deve ser de 23,77 mA, para a potência de 90 mW, a corrente deve ser de 46,96 mA. Contando que o projeto conta com seis LEDs e que há uma queda de 2,39 V no LED (e que temos 2 paralelos com 3 LEDs em série cada), calculou-se que as resistências necessárias para obter 45, 60 e 90 mW deveriam ser, respectivamente, 185, 110 e 56  $\Omega$ . Entretanto, observou-se o comportamento dos LEDs não foi linear em conjunto aos transistores, portanto as resistências foram selecionadas empiricamente, adicionando diferentes resistências e medindo a corrente sobre os LEDs.

Figura 8 – Gráfico de variação de potência luminosa em relação à corrente.



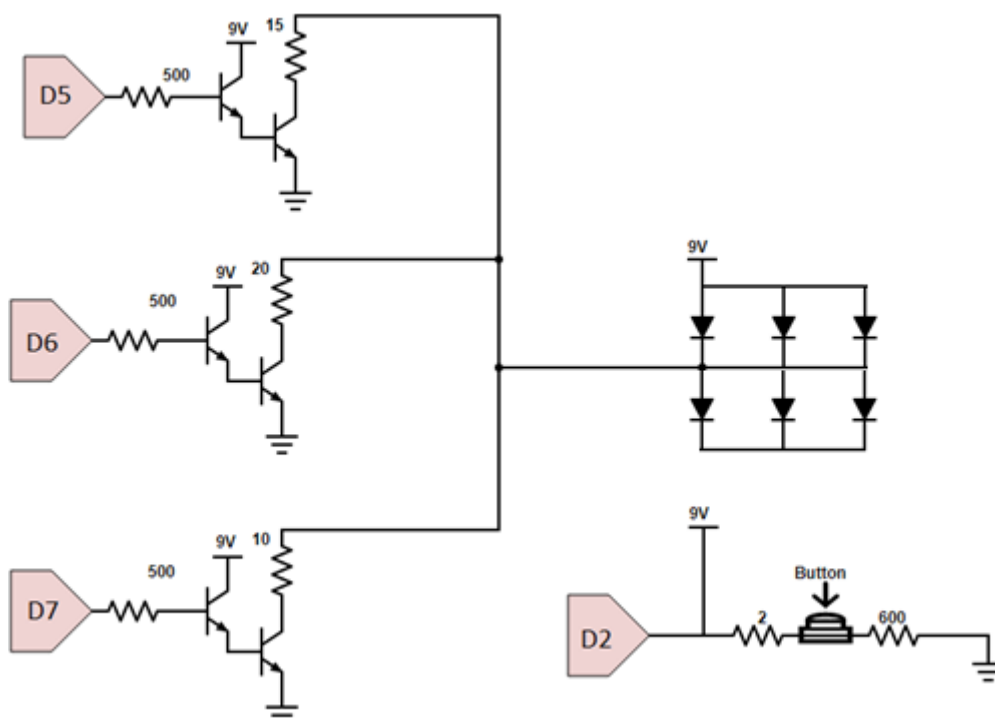
Fonte: acervo pessoal.

A ideia inicial foi utilizar a fonte de 5 V do próprio Arduino, entretanto a tensão não foi suficiente para manter todos os LEDs acesos. Desta forma, utilizou-se uma fonte de 9 V e 2 A para fornecer energia ao sistema. Então, observou-se que o brilho dos LEDs aumentou, todavia não foi possível chegar a potências próximas ao esperado.

## 5.2 Montagem do protótipo

O circuito final foi esquematizado como na Figura 8 e construído em *protoboard*.

Figura 8 - Circuito final.



Fonte: acervo pessoal.

As resistências  $r$  e  $R$  são, respectivamente, 2 e 600  $\Omega$ . Para controle do coletor dos transistores, adicionou-se uma resistência de 2,2 k  $\Omega$ .  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  são as resistências que controlam a corrente que passará pelos LEDs, mudando a potência luminosa.

O programa consiste em compreender o estado do *push-button* e utilizar este para acender os LEDs. No programa, os LEDs possuem 4 estados: desligado e níveis 1, 2 e 3. O sistema permanece ligado por três minutos, similar aos produtos citados no item 1. O nível 1 apresentou potência luminosa de 3,13 mW; o nível 2 apresentou potência de 4,13 mW e o nível 3, 4,44 mW. A queda de tensão causada pelas resistências que compuseram o circuito limitou a corrente que passava pelos LEDs, diminuindo o brilho destes.

Para o produto final a disposição dos LEDs deve ser feita de modo a ser confortável para o paciente e que ilumine todos os dentes. É necessário um

display simples e intuitivo para o profissional e um design ergonômico e leve. As resistências R1, R2 e R3 devem ser exatas para que a potência exata seja emitida e a fonte de energia deve ser repensada, visto que a bateria acabaria rápido, podendo ser uma fonte custosa para o profissional e ruim para o meio ambiente.

## 6 CONCLUSÃO

Clareamento dental é um dos serviços estéticos mais procurados na odontologia. Visto que há divergência nos resultados dos estudos com fontes distintas, com potências distintas e comprimentos de onda, novos estudos são necessários.

Dentre os estudos, observou-se que géis com coloração avermelhada absorvem melhor o comprimento do verde, mantendo o aquecimento mais próximo da superfície e auxiliando a catálise do peróxido de hidrogênio.

Criar um dispositivo a base de LEDs é possível e pode possuir um baixo custo. Para que haja um controle de tempo e até mesmo de potência, pode-se utilizar um sistema de microprocessamento como o Arduino, que tem custo aproximado de 20 reais e cujo *software* é gratuito. O Arduino foi o componente de maior custo utilizado no projeto, juntamente a componentes cujos preços são menores que 1 real. Enquanto isso, um equipamento comercializado possui preço superior a 3 mil reais.

A maior dificuldade consiste em encontrar as resistências corretas para a potência final esperada, visto que o LED não apresentou comportamento linear, principalmente quando conectado a transistores. Ao fim, a potência luminosa alcançada foi inferior à dos produtos já existentes.

Para que o protótipo chegue a ponto de produto, muito deve ser desenvolvido quanto a miniaturização do circuito para que este caiba em um design ergonômico para o profissional e confortável para o paciente. O produto deve possuir interface intuitiva, como um display que mostre a potência selecionada e o tempo decorrido. Além disso, a fonte de energia deve ser selecionada tal que não eleve muito o custo para o profissional, que seja o melhor possível para o meio ambiente e que ofereça tensão suficiente para que a potência desejada seja alcançada.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] R7, Beleza ou exagero? Brasil é o 2º país que mais investe em “embelezamento de dentes” no mundo. Disponível em: <<http://noticias.r7.com/saude/beleza-ou-exagero-brasil-e-o-2-pais-que-mais-investe-em-embelezamento-de-dentes-no-mundo-05092016>>. Acesso em 27/11/2016.

[2] JOINER, A. Tooth colour: a review of the literature. **Journal of dentistry**. Nº 32, pgs 3-12, 2004.

[3] WATTS, A.; ADDY, M. Tooth discolouration and staining: a review of the literature. **British Dental Journal**. Vol 190, Number, 2001.

[4] JOINER, A. The bleaching of teeth: a review of the literature. **Journal of dentistry**. Nº 34, pgs 412-419, 2006.

[5] CARVALHO, E. D.; et al. Uso da luz no clareamento dental em consultório: há controvérsias? **Rev Pesq Saúde**, 16(1): 189-193, jan-abr, 2015.

[6] SLOOTWEG, P. Dental Pathology: A Practical Introduction. Chapter 2: Histology of the Teeth and Surrounding Structures. Springer Science & Business Media, 2007.

[7] KISHEN, A.; ASUNDI, A. Fundamentals and Applications of Biophotonics in Dentistry. Series on Biomaterials and Bioengineering. Vol4. Imperial College Press, 2007.

[8] BETTIN, F. L.; BRITTO, M. L. B.; NABESHIMA, C. K. Avaliação da temperatura na câmara pulpar durante clareamento dental externo com diferentes fontes de luz e materiais clareadores. **Arquivos em Odontologia**. Vol 46, nº 1, 2016.

[9] MONDELLI, R. F. L.; et al. Evaluation of temperature increase during in-office bleaching. **Journal of Applied Oral Science**. Vol 24, nº 2, 2016.

[10] JOINER, A. Tooth Colour: a review of literature. **Journal of Dentistry**. 32, 3–12, 2004.

[11] MANDARINO, F. Clareamento Dental. WebMasters do Laboratório de Pesquisa em Endodontia da FORP - USP. Disponível em: <[http://143.107.206.201/restauradora/dentistica/temas/clar\\_dent/clar\\_dent.pdf](http://143.107.206.201/restauradora/dentistica/temas/clar_dent/clar_dent.pdf)>. Acesso em: 24/11/2016.

[12] SUNDFLED, R. H.; et al. Clareamento de Dentes Vitais com Peróxido de Carbamida. UNESP Araçatuba, 2013.

[13] MARTINELLI, F. R. Clareamento de Dentes Vitais: uma Revisão Bibliográfica. Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

- [14] LOGUERCIO, A. D.; *et al.* Effect of acidity of in-office bleaching gels on tooth sensitivity and whitening: a two-center double-blind randomized clinical trial. **Clinical Oral Investigation**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017.
- [15] NIEMZ, M. H. Laser-tissue Interactions – Fundamentals and Applications. 3ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- [16] CHAVANTES, M. C.; *et al.* Laser em Bio-medicina – Princípios e Práticas. Atheneu, 2009.
- [17] KABBACH, W.; *et al.* A Thermal Investigation of Dental Bleaching In Vitro. **Photomedicine and Laser Surgery**. Vol 26, nº 5, 2008.
- [18] HECHT, J. The Laser Guidebook. 2ed. McGraw-Hill, 1999.
- [19] SCHUBERT, E. F. Light-Emitting Diode. 2ed. Cambridge University Press, 2006.
- [20] JOINER, A. The bleaching of teeth: A review of the literature. **Journal of Dentistry**. Vol 34, 2006.
- [21] BUCHALLA W., ATTIN, T. External bleaching therapy with activation by heat, light or laser — A systematic review. **Dental Materials**. Nº 23, pgs 586-596, 2007.
- [22] ARAÚJO, R. M.; TORRES, C. R. G.; ARAÚJO, M. A. M. In vitro evaluation of dental bleaching effectiveness using hybrid lights activation. **Revista Odonto Ciência**. Vol 25, nº 2. 2010.
- [23] DOMÍNGUEZ A.; *et al.* Influence of the light source and bleaching gel on the efficacy of the tooth whitening process. **Photomed Laser Surgery**. Nº 9, pgs 29-53, 2011.
- [24] COUTINHO, D. S., SILVEIRA, L. Comparação dos coeficientes de absorção da luz emitida por um LED verde e um LED azul, em um espessante na cor vermelha. IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Universidade do Vale do Paraíba. 2005.
- [25] COUTINHO, D. S.; *et al.* Comparison of temperature increase in in vitro human tooth pulp by different light sources in the dental whitening process. **Lasers Medical Science**. Nº 24, pgs 179–185, 2009.
- [26] ZHANG, C.; *et al.* Effects of KTP Laser Irradiation, Diode Laser, and LED on Tooth Bleaching: A Comparative Study. **Photomedicine and Laser Surgery**. Vol 25, Nº 2, pgs 91–95. 2007.

[27] ZANIN, F. A.; BRUGNERA, A. JR.; BASSOUKOU, I.H. Novo Protocolo com LEDs Verdes Para o Clareamento Dental. **Revista Gaúcha de Odontologia**. V. 54, n.4, pgs 340-344, 2006.

## 8 APÊNDICE

Código utilizado para controle do Arduino:

```
//DECLARAÇÃO DAS VARIÁVEIS

unsigned long potencia = 0;
unsigned long bandeira = 0;
unsigned long tempo1 = 0;
unsigned long tempo2 = 0;

void setup() {

    // Desligando todos os LEDs

    Serial.begin(9600);
    digitalWrite(5, LOW);
    digitalWrite(6, LOW);
    digitalWrite(7, LOW);

}

void loop() {

    //Quando o botão é pressionado, os transistors são selecionados

    if(digitalRead(2) == HIGH & bandeira == 0){
        potencia = potencia + 1;
        if(potencia>3)
            potencia = 0;
        bandeira = 1;
        Serial.println(potencia);

        if(potencia==0){
            digitalWrite(5, LOW);
            digitalWrite(6, LOW);
            digitalWrite(7, LOW);
        }
        if(potencia==1){
            digitalWrite(5, HIGH);
            digitalWrite(6, LOW);
            digitalWrite(7, LOW);
            tempo1 = millis();
        }
        if(potencia==2){
```



```

    digitalWrite(5, HIGH);
    digitalWrite(6, HIGH);
    digitalWrite(7, LOW);
    tempo1 = millis();
}
if(potencia==3){
    digitalWrite(5, HIGH);
    digitalWrite(6, HIGH);
    digitalWrite(7, HIGH);
    tempo1 = millis();
}

//Comando que impede duplo clique

delay(500);

}

//Contador que faz com que o LED desligue após 3 minutos

if(potencia>0){
    tempo2 = millis();
    if(tempo2-tempo1>180000){
        potencia = 0;
        digitalWrite(5, LOW);
        digitalWrite(6, LOW);
        digitalWrite(7, LOW);
        Serial.println("Tempo atingido, desligando...");
    }
}

if(digitalRead(2) == LOW & bandeira == 1)
    bandeira=0;

}

```