

UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E
INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROCESSOS TECNOLÓGICOS E
AMBIENTAIS

Luiz Fernando Vieira

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PORTÁTIL PARA
IRRADIAÇÃO EXTRAVASCULAR A LASER DO SANGUE – ELIB DEVICE

Sorocaba/SP

2019

Luiz Fernando Vieira

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PORTÁTIL PARA
IRRADIAÇÃO EXTRAVASCULAR A LASER DO SANGUE – ELIB DEVICE**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba, como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Processos Tecnológicos e Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Norberto Aranha

Sorocaba/SP

2019

Ficha Catalográfica

V716d Vieira, Luiz Fernando
Desenvolvimento de dispositivo portátil para irradiação
extravascular a laser do sangue : elib device / Luiz Fernando
Vieira. -- 2019.
111 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Norberto Aranha.
Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e
Ambientais) - Universidade de Sorocaba, Sorocaba, SP, 2019.

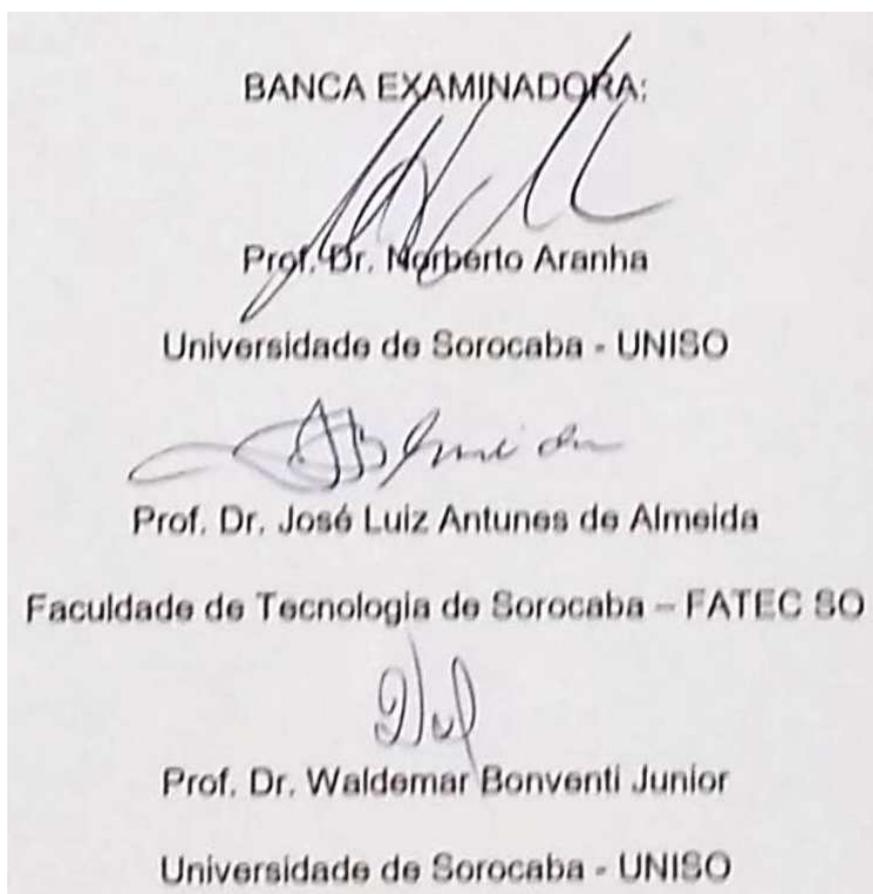
1. Lasers em medicina. 2. Aparelhos e materiais eletrônicos.
3. Protótipo. I. Aranha, Norberto, orient. II. Universidade de
Sorocaba. III. Título.

Luiz Fernando Vieira

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PORTÁTIL PARA
IRRADIAÇÃO EXTRAVASCULAR A LASER DO SANGUE – ELIB DEVICE**

Dissertação aprovada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-
Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da
Universidade de Sorocaba.

Aprovado em: 27/06/2019



A minha amada esposa Lara que me apoiou durante mais esta etapa de minha vida, e, certamente continuará apoiando em todas que virão.

AGRADECIMENTOS

Sempre serei grato aos meus pais Janio e Vera que foram meu alicerce por toda a vida, educando, incentivando e aconselhando em todos os momentos.

Aos meus avós Adão e Maria Aparecida que sempre acompanharam meus estudos e me proporcionaram os primeiros ensinamentos para minha vida profissional.

Aos meus irmãos Carlos e Isabel que me apoiam quando preciso.

Ao professor Norberto Aranha pela orientação e companheirismo durante o período do programa de mestrado.

Mesmo desacreditado e ignorado por todos, não posso desistir, pois para mim, vencer é nunca desistir.

Albert Einstein

RESUMO

O laser é uma fonte de luz coerente, colimada, monocromática e de polarização uniforme. Na medicina há a interação da radiação laser com os tecidos biológicos com fins diagnósticos ou terapêuticos. As variáveis fundamentais dessa interação são comprimento de onda, densidade de potência e tempo de exposição. A terapia ILIB estimula as células sanguíneas com a irradiação do laser, proporcionando benefícios ao sistema imunológico, a microcirculação sanguínea e alívio de dores e inflamações. O objetivo do trabalho é desenvolver um equipamento eletrônico portátil capaz de realizar o ILIB de forma tópica. Este projeto não inclui testes em pessoas ou animais. Este trabalho faz a revisão bibliográfica mostrando a natureza da luz e do laser. Em seguida, trata das interações do laser com os tecidos biológicos e apresenta a laserterapia ILIB e suas ações ao organismo. A partir dessas informações, demonstram-se todas as fases de elaboração do protótipo. Faz-se a verificação do funcionamento do protótipo construído e suas características, demonstrando que essas atendem às exigências preestabelecidas para a laserterapia em questão.

Palavras-chave: Laser, Laserterapia, ILIB, Medicina.

ABSTRACT

The laser is a coherent, collimated, monochromatic and uniformly polarized light source. In medicine, there is the interaction of laser radiation with biological tissues for diagnostic or therapeutic purposes. The fundamental variables of this interaction are wavelength, power density and time of exposure. ILIB therapy stimulates blood cells with laser irradiation, providing benefits to the immune system, blood microcirculation, and relief of pain and inflammation. The objective of the work is to develop a portable electronic equipment capable of performing ILIB in a topical manner. This project does not include testing on people or animals. This work makes the bibliographic review showing the nature of light and the laser. Then, it deals with the interactions of the laser with the biological tissues and presents the ILIB laser therapy and its actions to the body. From this information, all the phases of elaboration of the prototype are demonstrated. It is verified the operation of the prototype built and its characteristics, demonstrating that they meet the pre-established requirements for the laser therapy in question.

Keywords: Laser, Laser therapy, ILIB, Medicine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Espectro Eletromagnético.....	23
Figura 2 - Modelo atômico proposto por Rutherford.....	25
Figura 3 - Transição de órbitas de elétrons pela absorção (direita) e emissão (esquerda) de um fóton	26
Figura 4 - Os processos durante a interação da radiação eletromagnética com um sistema quântico. Absorção (a), emissão espontânea (b), emissão estimulada (c).....	27
Figura 5 - Representação da constituição do Laser.....	28
Figura 6 - Esquema ilustrativo da interação da luz com o tecido biológico.	34
Figura 7 - Aplicação de laser com método invasivo.	41
Figura 8 - Pontos de acupuntura no braço e antebraço.	43
Figura 9 – Equipamento Recover Mm Optics.....	46
Figura 10 – Equipamento Lasermed.	48
Figura 11 – Equipamento Laserpulse Ibramed.....	50
Figura 12 - Diagrama básico do produto.	52
Figura 13 – Aparelhos de laserterapia portáteis importados.	53
Figura 14 – Pulseira esportiva para Applewatch.	55
Figura 15 - Laser ADL-66505TL.....	57
Figura 16 - Posição do ponto PC6 no antebraço.....	58
Figura 17 - Arteriograma da mão direita, vista palmar.	59
Figura 18 - Bateria Recarregável de Lítio Íon ICR 103450 3,7 V -1700 mAh... 61	
Figura 19 – Carregador de energia micro USB Inova V8 1.0 A CAR-7175	62
Figura 20 - Secção do punho humano à esquerda e elipse à direita.	64
Figura 21 - Determinação geométrica do diâmetro da circunferência a partir da elipse.....	66
Figura 22 - Modelagem 3D do produto.....	67
Figura 23 - Caixa impressa em 3D.....	67
Figura 24 – Etiqueta posicionada na face que permanece em contato com o paciente durante o tratamento.....	69
Figura 25 - Etiqueta que fica na face visível do produto durante o tratamento. 70	
Figura 26 - Circuito típico de regulação de tensão utilizando o LM3668	72

Figura 27 - Circuito típico de carregamento de bateria de lítio usando o MCP73832	73
Figura 28 – Conexões do microcontrolador ATtiny88	74
Figura 29 – Gravador AVR USBasp (esquerda). Conexão de gravação ISP via comunicação SPI (direita).	75
Figura 30 – Circuito desenvolvido para acionamento dos lasers.	77
Figura 31 – Elaboração do Layout das placas de circuito impresso no Autodesk Eagle ®.	79
Figura 32 - Placas eletrônicas montadas. Face inferior (à esquerda) e face superior (à direita).	80
Figura 33 – Ambiente de desenvolvimento do Atmel Studio 7 ®	81
Figura 34 - Fluxograma da rotina principal do firmware.	84
Figura 35 - Aparelho medidor de potência luminosa de laser GENTEC-EO PRONTO-SI®.....	86
Figura 36 - Multímetro Hikari HM-2030. À direita com a ponta medidora de temperatura, à esquerda com as pontas para medição de grandezas elétricas.	86
Figura 37 – Fonte de alimentação regulável Icel PS-3005.....	87
Figura 38 - Protótipo funcional utilizado para teste de autonomia.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre o tipo de radiação e sua energia de interação.	24
Quadro 2 - Classificação dos produtos conforme categoria do laser	29
Quadro 3 - Aplicações médicas típicas para diferentes diodos lasers	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Profundidade de penetração na pele humana sadia para vários comprimentos de onda.....	35
Gráfico 2 - Espectro de absorção de água, hemoglobina, melanina e proteínas e do espalhamento no tecido.	36
Gráfico 3 - Tipos diferentes de interação laser-tecido dependendo do total de exposição e o tempo de exposição (a); diferentes tipos de interação laser-tecido dependendo da taxa de exposição e do tempo de interação (b).....	40
Gráfico 4 - Densidade volumétrica (Wh/l) versus densidade gravimétrica (Wh/kg) das baterias.....	60
Gráfico 5 - Potência Luminosa (em mW) versus Temperatura (em °C) - Corrente de operação de 90 mA, e sem distanciamento entre laser e sensor.....	88
Gráfico 6 – Eficiência energética (mW/mA) versus Temperatura (°C) do laser semiconductor ADL-66505TL.....	89
Gráfico 7 - Potência Luminosa (em mW) versus Corrente (em mA) - Temperatura de 25 °C e sem distanciamento entre laser e sensor.....	90
Gráfico 8 - Tensão de condução (em V) versus Corrente (em mA) - Temperatura de 25 °C e sem distanciamento entre laser e sensor.....	92
Gráfico 9 - Potência Luminosa (em mW) versus Tempo (em minutos) – Corrente de operação de 90 mA, temperatura de 25 °C e sem distanciamento entre laser e sensor.....	94
Gráfico 10 - Potência Luminosa (em mW) versus Distância (em mm) entre laser e sensor – Corrente de operação de 90 mA e temperatura de 25 °C.	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D – três dimensões.

°C – graus celsius.

A – ampère.

ABS - *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (acrilonitrila butadieno estireno).

A/D – analógico para digital.

Ah – ampère-hora.

ARM - *Advanced RISC Machine* (Máquina RISC Avançada).

CRM – Conselho Regional de Medicina.

C x L x A – Comprimento x Largura x Altura.

CI – Circuito Integrado.

Dimel – Diretoria de Metrologia Legal.

DXF - *Drawing Exchange Format* (formato de intercâmbio de desenho).

ELIB - *Extravascular Laser Irradiation of Blood* (irradiação extravascular de laser no sangue).

EROs - espécies reativas de oxigênio.

GCC - *GNU Compiler Collection* (coleção de compiladores GNU).

h – hora.

He-Neon – hélio-neon.

Hz – hertz.

IEC – *International Electrotechnical Commission* (Comissão Eletrotécnica Internacional).

ILIB – *Intravascular Laser Irradiation of Blood* (irradiação a laser do sangue intravascular).

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

I/Os – *Inputs and Outputs* (entradas e saídas).

J – joule.

kB – kilobytes.

kg – quilograma.

Li-Íon – lítio-íon.

Li-Po – lítio-polímero.

m – metro.

min – minuto.

MOSFET – *Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor* (Transistor de Efeito de Campo de Óxido de Metal Semicondutor)

n° - número.

psi - *pound force per square inch* (libra-força por polegada quadrada).

rad – radiano.

s – segundo.

SMD - *Surface Mount Device* (componente para montagem em superfície).

SPI – *Serial Peripheral Interface* (interface serial periférica).

SRAM – *Static Random Access Memory* (memória de acesso aleatório estática).

STL - *stereolithography* (estereolitografia).

V – volt.

W – watt.

LISTA DE SÍMBOLOS

h – Constante de Planck ($6,63 \times 10^{-34}$ J.s).

λ – comprimento de onda.

c – velocidade da luz ($3,00 \times 10^8$ m/s).

ν – número de onda ($1/\lambda$).

θ – ângulo de divergência.

M^2 – fator de qualidade do feixe de laser.

O_2 – gás oxigênio.

H_2O – água.

O_2^{\bullet} - superóxido.

H_2O_2 – peróxido de hidrogênio.

OH^{\bullet} - hidroxila.

$(O_2^{\bullet\bullet})$ – superóxido de estado triplo.

® - Marca registrada.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	LASER: FUNDAMENTOS BÁSICOS	21
2.1	A Natureza da Luz	21
2.2	Características do Laser.....	24
2.3	Laser Semicondutor.....	31
3	LASERTERAPIA	33
3.1	Interação da Radiação Laser com Tecidos Humanos.....	33
3.1.1	Modo Eletromecânico, fotomecânico ou fotodisruptivo	37
3.1.2	Modo Ablativo	37
3.1.3	Modo Fototérmico, Coagulativo ou Vaporizante	38
3.1.4	Modo Fotoquímico ou Fotodinâmico	38
3.1.5	Modo de Bioestimulação	39
3.2	Irradiação do Sangue Intravascular com Laser (ILIB).....	41
3.3	Acupuntura com Laser (Laseracupuntura).....	42
3.4	Considerações Sobre o Laser para a Laserterapia ILIB Modificada	44
4	DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO PORTÁTIL DE LASERTERAPIA <i>ELIB DEVICE</i>	45
4.1	<i>Benchmarking</i>	45
4.1.1	<i>Recover Mm Optics</i>	46
4.1.2	<i>Lasermed 650 nm 12 mW</i>	47
4.1.3	<i>Laserpulse Ibramed 660 nm</i>	49
4.2	Características do Protótipo Desenvolvido	51
4.3	<i>Design Físico</i>	53
4.3.1	<i>Pulseira Applewatch®</i>	54
4.3.2	Temporizador e indicador de baterias com Leds	55

4.3.3	Diodos Lasers e Disposição	56
4.3.4	Bateria de Li-Íon e Carregador	59
4.3.5	Caixa de Plástico	63
4.3.6	Modelagem 3D	66
4.3.7	Etiquetas Adesivas.....	68
4.4	Hardware.....	70
4.4.1	Regulador de Tensão e Carregamento	71
4.4.2	Controlador	73
4.4.3	Acionamento dos Lasers	76
4.4.4	Placas de circuito impresso	78
4.5	<i>Firmware</i>	80
4.5.1	Abstração do Hardware	82
4.5.2	Aplicação.....	83
5	AVALIAÇÃO DO <i>ELIB DEVICE</i>	85
5.1	Verificação das Características do Diodo Laser	85
5.1.1	Verificação da Potência Luminosa pela Temperatura.....	88
5.1.2	Verificação da Potência Luminosa pela Corrente Elétrica.....	90
5.1.3	Verificação da Potência Luminosa pelo Tempo.....	93
5.1.4	Verificação da Potência Luminosa pela Distância.....	94
5.2	Teste de autonomia.....	96
6	CONCLUSÃO	98
7	TRABALHOS FUTUROS	100
	REFERÊNCIAS.....	101
	ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE POTÊNCIA DE LASER GENTEC-EO PRONTO-SI	109
	ANEXO B – DATASHEET ADL-66505TL.....	110

1 INTRODUÇÃO

O laser é caracterizado por ser uma fonte emissora de luz coerente, colimada, monocromática e com polarização uniforme, tendo seus comportamentos explicados pela natureza física da luz, ora características de ondulatória, ora características de transferência energética, chamada dualidade onda-partícula (HALEY; PRATT, 2017).

Desde o surgimento do laser na década de 60, o desenvolvimento tecnológico, a criação do laser semiconductor, a estabilidade química, a durabilidade mecânica e a vida prolongada permitiram ao laser sua ampla utilização em tecnologia e ciência, como espectroscopia, micromáquinas, monitoramento atmosférico, metrologia de precisão, etc (SENNAROGLU, 2007).

Na área médica, sua atuação é baseada na interação da radiação laser com os tecidos biológicos. Essa interação pode ter dois propósitos: diagnóstico ou terapêutico. Os fatores fundamentais que determinam a atuação médica realizada são: comprimento de onda que determina a capacidade de absorção; densidade de potência; tempo de exposição (JELINKOVÁ, 2013).

As interações, a partir das características do laser, podem ser do tipo:

- Fotomecânica ou fotodisruptiva quando há a ionização do tecido;
- Ablativa quando há a quebra do tecido em moléculas;
- Fototérmica, causando o aquecimento e até a carbonização dos tecidos;
- Fotoquímica, quando altera os processos químicos das células, principalmente aqueles relacionados aos processos oxidativos;
- Bioestimulação e regeneração de tecidos, acelerando os processos de multiplicação de determinadas células (PENG, et al, 2008).

A terapia ILIB (*Intravascular laser irradiation of blood*, ou irradiação de laser sobre o sangue intravascular), é um método de estimulação química e biológica baseada na irradiação do laser sobre as células sanguíneas, proporcionando benefícios como fortalecimento do sistema imunológico,

melhora na microcirculação sanguínea e alívio de dores e inflamações (WEBER, 2009).

Há equipamentos comercializados no mercado brasileiro que realizam a terapia ILIB de maneira tópica. Vislumbrando ofertar um produto semelhante, o médico Augusto José Santos Ferreira propôs o desenvolvimento de um equipamento para a realização dessa laserterapia. Como diferencial para seu produto, o aparelho é alimentado por bateria, sem cabeamentos, compacto, em formato anatômico e que permite a liberdade de movimentos para o usuário durante a sessão. Dessa proposta, contando com o apoio profissional e financeiro do médico, surgiu o objetivo para este trabalho.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um equipamento eletrônico portátil capaz de atender aos requisitos da laserterapia denominada ILIB modificada, que realiza a fotobioestimulação de forma tópica.

Este trabalho não inclui o teste deste equipamento em pessoas ou animais, somente o projeto e a verificação do funcionamento do protótipo e se as características desenvolvidas atendem às exigências preestabelecidas para a laserterapia em questão.

A dissertação apresenta primeiramente, no capítulo 2, os aspectos da natureza da luz, as propriedades fundamentais de laser, classificação e o laser semicondutor.

O capítulo 3 descreve a ação do laser sobre os tecidos orgânicos dependendo de seu comprimento de onda, potência e tempo de exposição. Também aborda a técnica ILIB e a acupuntura a laser, que são os tratamentos médicos aos quais o equipamento desenvolvido se aplica.

Em seguida, o capítulo 4 descreve o processo de concepção e desenvolvimento do protótipo funcional do aparelho, destacando as características principais que tornam esse produto adequado para utilização para o tratamento ILIB não-invasivo.

No capítulo 5 são feitos alguns procedimentos para verificar o atendimento das características para a laserterapia por parte do equipamento,

verificando se o produto é capaz de fornecer a irradiação adequada para a fotobioestimulação segundo as referências bibliográficas sugerem.

Por fim, a conclusão que ratifica a partir dos dados colhidos e da montagem do protótipo que o aparelho desenvolvido é adequado para realizar a laserterapia ILIB modificada.

2 LASER: FUNDAMENTOS BÁSICOS

Este capítulo apresenta os conceitos físicos principais sobre o laser, descrevendo detalhadamente desde a natureza da luz até as propriedades que caracterizam o laser. Também são mencionadas as classificações de segurança do laser que dependem de sua potência e as variáveis que devem ser observadas para a escolha e dimensionamento do laser para sua aplicação.

Também é dedicado ao final um tópico falando sobre o laser semiconductor, que será o tipo do dispositivo utilizado pelo equipamento de laserterapia.

2.1 A Natureza da Luz

Isaac Newton acreditava que a luz era formada por partículas que eram emitidas por uma fonte luminosa e que por sua vez estimulavam a visão do observador. A partir desse princípio, ele foi capaz de explicar os fenômenos de refração e reflexão. No entanto, outro modelo da natureza da luz concorria com o que Newton pregava, o movimento ondulatório da luz. Christian Huygens foi o primeiro a demonstrar a refração e reflexão pelo movimento de ondas, em 1678. Em 1801, Thomas Young apresentou de forma clara a natureza ondulatória pelo princípio da superposição, no qual raios de luz podem interferir uns nos outros. Por fim, como comprovação final ao modelo de ondas da luz, Maxwell teorizou que a luz era uma forma de onda eletromagnética de alta frequência em 1873, e em 1887, Heinrich Hertz apresentou resultados experimentais que validavam as teorias de Maxwell. (SERWAY; JEWETT, 2012)

O modelo de ondas conseguia explicar a maioria dos problemas referentes à luz, no entanto, ainda não explicava todos, dentre eles o mais relevante era o Efeito Fotoelétrico, observado pela primeira vez por Hertz, coincidentemente. Quando a luz incide sobre a superfície de um material metálico, algumas vezes elétrons podem ser ejetados dessa superfície, independente da intensidade da luz incidida, o que contradizia o modelo de

ondas. (SERWAY; JEWETT, 2012). Somente em 1905, Albert Einstein propôs um conceito que explica o Efeito Fotoelétrico. Baseando-se nos trabalhos de Max Planck, Einstein expôs que a luz é formada por partículas chamadas fótons. (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2004).

O modelo de fóton é compreendido por três postulados descritos por Einstein:

1 – Fótons são unidades discretas e sem massa que formam a luz, e cada fóton movimenta-se a velocidade da luz no vácuo ($3,00 \times 10^8$ m/s);

2 – A energia contida em um fóton ($E_{\text{fóton}}$) é calculada pela equação:

$$E_{\text{fóton}} = h \cdot f \quad (1)$$

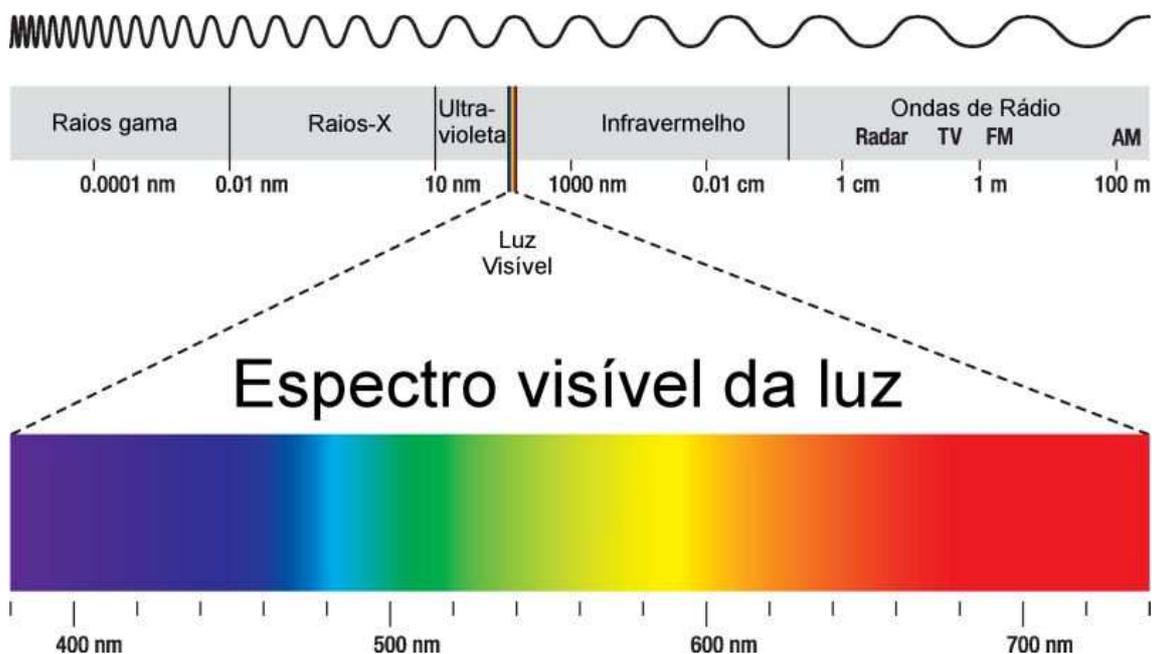
Onde f é a frequência da luz e h é uma constante universal chamada de constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s).

3 – A superposição de uma grande quantidade de fótons gera as características do modelo de luz clássico (modelo de ondas). (KNIGHT, 2009).

Assim, a natureza da luz não pode ser definida apenas por um comportamento ondulatório ou um comportamento corpuscular, mas sim como a dualidade onda-partícula. A propagação da luz é explicada por suas características ondulatórias, já a interação entre luz e matéria com troca de energia é explicada por suas propriedades corpusculares (TIPLER; MOSCA, 2009).

Como apresentado pelo modelo clássico, a luz é uma radiação eletromagnética, ou seja, uma onda propagada pelo espaço como uma resultante da interação de campos elétricos e magnéticos e categorizada conforme seu comprimento de onda (λ) dentro do espectro eletromagnético (Figura 1). O espectro de luz visível ao ser humano compreende apenas uma estreita faixa que vai de 380 nm a 750 nm, as demais compreendem radiações invisíveis à espécie humana, como o ultravioleta e o infravermelho, mas que também apresentam aplicações práticas diversas (CATORZE, 2009).

Figura 1 - Espectro Eletromagnético.



Fonte: INFOESCOLA. **Espectro Eletromagnético**. InfoEscola – Navegando e Aprendendo. Site: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. Acessado em: 27 de agosto de 2018.

Considerando então que a energia de cada fóton é dada pela expressão (1) e sabendo que a frequência f de uma radiação eletromagnética é dada por:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

Em que c é a velocidade de propagação da luz no vácuo ($3,00 \times 10^8$ m/s) e λ é o comprimento da onda, tem-se:

$$E_{fóton} = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

$$E_{fóton} = 6,26 \times 10^{-34} \cdot \frac{3 \times 10^8}{\lambda}$$

$$E_{fóton} \cong \frac{2 \times 10^{-23}}{\lambda}$$

Isso demonstra que a quantidade de energia presente em um fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Assim, analisando os tipos de radiações eletromagnéticas, é apresentada no Quadro 1 a intensidade

energética de cada tipo de radiação, sendo os raios gama os mais energéticos e as ondas de rádio as menos energéticas (GARCEZ; RIBEIRO; NUÑES, 2012).

Quadro 1- Relação entre o tipo de radiação e sua energia de interação.

Tipo de radiação	Frequência (Hz)	Comprimento de onda	Tipo de transição	Tipo de energia
Raios gama	10^{20} a 10^{24}	$< 10^{-12}$	Nuclear	Ionização
Raios X	10^{17} a 10^{20}	1 nm a 1 pm	Elétron mais interno	Dissociação
Ultravioleta	10^{15} a 10^{17}	400 nm a 1 nm	Elétron mais externo	Excitação eletrônica
Visível	4 a $7,5 \times 10^4$	700 nm a 400 nm	Elétron mais externo	
Infravermelho próximo	1×10^{14} a 4×10^{14}	2,5 μ m a 700 nm	Elétron mais externo	Vibração
			Vibrações moleculares	
Infravermelho	10^{13} a 10^{14}	25 μ m a 2,5 μ m	Vibrações moleculares	
Micro-ondas	3×10^{11} a 1×10^9	1 mm a 25 μ m	Rotações moleculares	Rotação
			Inversão de paridade do spin eletrônico	
Ondas de rádio	$< 3 \times 10^{11}$	> 1 mm	Inversão de paridade do spin nuclear	

Fonte: GARCEZ, A. S.; RIBEIRO, M. S.; NÚÑEZ, S. C. **Laser de Baixa Potência: Princípios Básicos e Aplicações Clínicas na Odontologia**. Rio de Janeiro/RJ: Editora Elsevier. 2012.

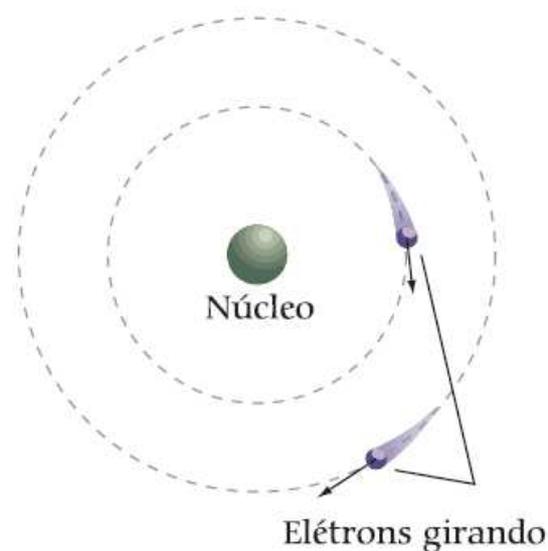
O nível de energia mais alto, contido nas radiações gama, é chamado de energia de ionização, pois é capaz de causar a desintegração do átomo em elétrons livres e íons. Já o nível de dissociação, presente nos raios X, causa o desmembramento de moléculas, reduzindo-as em grupos de átomos, átomos avulsos e até mesmo em íons. (JELÍNKOVÁ, 2013).

2.2 Características do Laser

Entender o funcionamento do laser depende do conhecimento da natureza da luz (como apresentado no item 2.1), como também da própria estrutura do átomo (BAGNATO, 2001).

O modelo atômico atualmente válido é o proposto inicialmente por Rutherford. Em seu modelo, ele afirma que o átomo é composto por um núcleo central que possui cargas elétricas positivas, que são equilibradas por cargas elétricas negativas chamadas de elétrons e que giram em torno do núcleo em órbitas circulares (Figura 2). No entanto, esse modelo não explicava como um elétron em movimento acelerado não emitia energia constantemente, que por consequência dessa perda gradativamente iria se aproximar do núcleo em espiral e ao final, quando entrassem em contato, causaria o colapso do átomo (BAGNATO, 2001).

Figura 2 - Modelo atômico proposto por Rutherford.



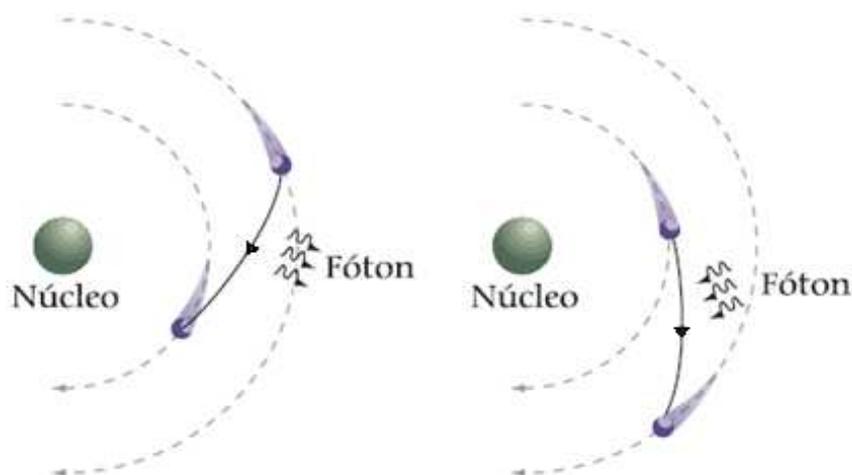
Fonte: BAGNATO, V. S. **Os Fundamentos da Luz Laser**. Instituto de Física de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP. 2001

Foi Niels Bohr que postulou justificativas para essa questão, afirmando que:

- Os elétrons orbitam o núcleo em trajetórias bem definidas, chamadas de níveis energéticos e não emitem energia durante seu movimento;
- E que os elétrons se movimentam de uma órbita para outra pela absorção ou emissão de energia determinada por $\Delta E = h \cdot f$ em que h é a constante de Planck e f é a frequência da radiação

eletromagnética, ou seja, a quantidade de energia trocada é equivalente a energia de um fóton, ilustrado na Figura 3 (BAGNATO, 2001).

Figura 3 - Transição de órbitas de elétrons pela absorção (direita) e emissão (esquerda) de um fóton

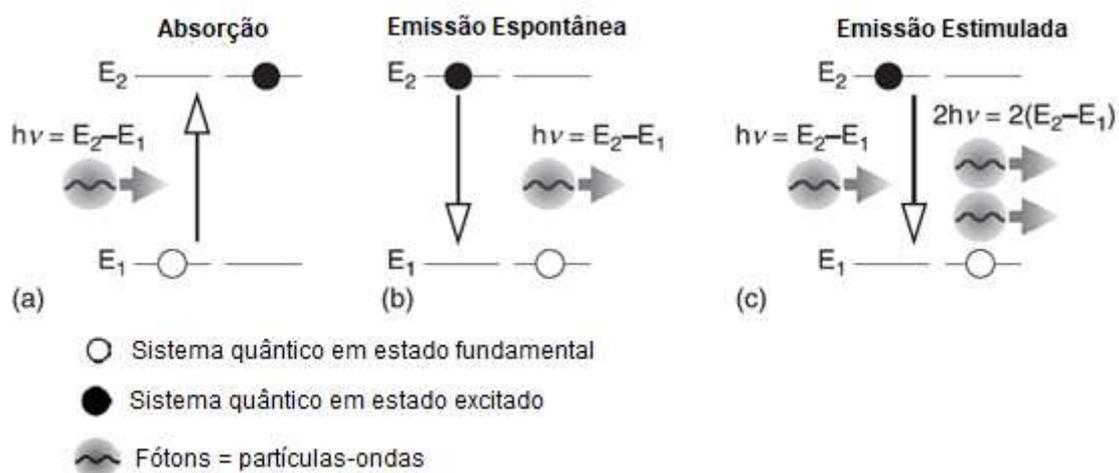


Fonte: BAGNATO, V. S. **Os Fundamentos da Luz Laser**. Instituto de Física de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP. 2001

No modelo de Bohr, as órbitas com menores níveis de energia são chamadas de estados fixos e as de maiores níveis energéticos são chamadas de estados excitados. A diferença entre a energia desses dois estados é denominada como energia de excitação. (JÉLINKOVÁ, 2013)

Fatores externos causam mudanças na estrutura de um sistema quântico e em seu estado estacionário e a essa mudança dá-se o nome de transição quântica. O processo de absorção ocorre quando um sistema quântico recebe energia e o muda para o estado excitado. Após certo período, o próprio sistema quântico libera essa energia naturalmente a fim de voltar ao seu estado estacionário. Esse processo recebe o nome de emissão espontânea. E essa troca de energia pode ser emitida na forma de fótons (JÉLINKOVÁ, 2013). As letras (a) e (b) da Figura 4 ilustram como são os processos de absorção e emissão espontânea de energia.

Figura 4 - Os processos durante a interação da radiação eletromagnética com um sistema quântico. Absorção (a), emissão espontânea (b), emissão estimulada (c).



Fonte: JELÍNKOVÁ, H. **Lasers for Medical Applications: Diagnostics, Therapy and Surgery**. Woodhead Publishing. Philadelphia, EUA. 2013.

Segundo Einstein teorizou, assim como pode ocorrer uma emissão espontânea, uma emissão também pode ser induzida, estimulada ou forçada. Assim, quando um fóton aplicado ao sistema quântico força sua transição do estado excitado para o estado fixo, um novo fóton é emitido não apenas com a mesma quantidade de energia do fóton que provocou o estímulo, mas também terá a mesma fase e se propagará na mesma direção que o original. A esse efeito dá-se o nome de emissão estimulada, que está ilustrado na Figura 4, letra (c) (JÉLINKOVÁ, 2013).

A luz laser é produzida pela emissão de fótons quando os elétrons decaem de seus níveis energéticos de maneira estimulada. Todos esses fótons comportam-se de maneira idêntica e amplificados formando um feixe de laser. (BAGNATO, 2001).

As principais propriedades do laser que o diferem de outros tipos de luz são:

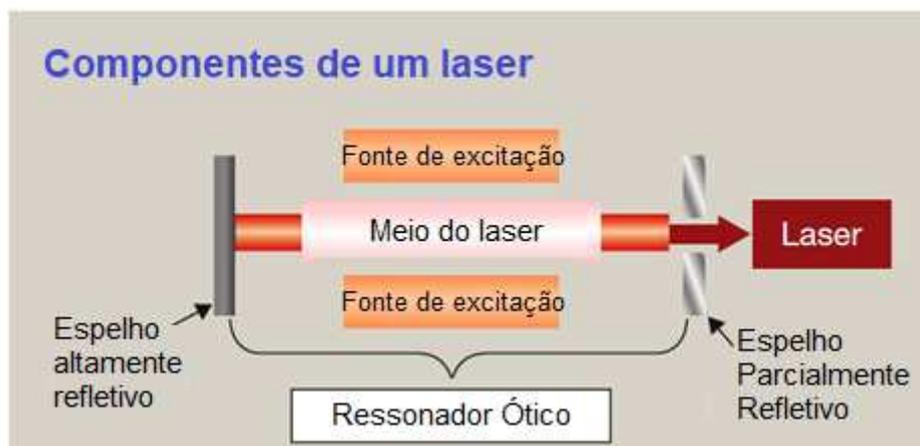
- Coerência – isso significa que os fótons são todos emitidos em fase, o que quer dizer que as emissões das ondas associadas a emissão

de dois fótons distintos têm seus pontos de crista e vale ocorrendo exatamente ao mesmo instante.

- Colimação – os fótons viajam paralelamente e pouco divergem em relação ao ponto de origem da luz com seu distanciamento. Assim, o laser é um feixe de luz de diâmetro bem estreito.
- Monocromaticidade – a luz gerada é constituída por apenas um único comprimento de onda, ou seja, por uma cor única.
- Polarização Uniforme – o campo elétrico dos fótons oscila em uma direção perpendicular em relação a propagação do feixe do laser, ou seja, uma onda transversal (HALLEY; PRATT, 2017).

O dispositivo emissor do laser é constituído por três componentes principais, que são representados na Figura 5.

Figura 5 - Representação da constituição do Laser.



Fonte: HALEY, D.; PRATT, O. **Basic Principles of Lasers**. Elsevier. 2017.

- Bomba ou fonte de excitação – trata-se da fonte de energia necessária para a excitação dos elétrons, ela pode ser ótica, elétrica ou química;
- Meio do laser ou meio de ganho – que define o comprimento da onda gerada e que pode tipificar o laser. O meio pode ser feito de materiais sólidos, líquidos ou gasosos.

- Ressonador ótico – constituído pelo meio do laser associado a dois espelhos em paralelo em cada lado do meio. Sua função é fazer com que os fótons rebatam repetidas vezes pelo meio. Um dos espelhos sempre é parcialmente transparente para que parte dos fótons possa sair do dispositivo e formar o feixe de laser, o que é chamado de saída acoplada. (HALLEY; PRATT, 2017).

A partir dos anos 70, os lasers começaram a ser classificados conforme a potência máxima de saída em quatro classes, que levam em consideração a capacidade de causar danos à saúde humana, sendo a classe 1 considerada inofensiva e a classe 4 a mais severa para olhos e pele (THOMAS; ISAACS, 2011). O padrão atualmente válido para a classificação dos lasers é o IEC 60825-1:2001. O Quadro 2 apresenta as características de cada classe de laser e seus riscos.

Quadro 2 - Classificação dos produtos conforme categoria do laser

CLASSE	POTÊNCIA MÁXIMA EMITIDA	DESCRIÇÃO DO PRODUTO
1	40 μ W	Não perigosos mesmo para longas exposições e com o uso de instrumentos ópticos de aumento
1M	40 μ W	Potencialmente perigosos aos olhos se observados por meio de instrumentos ópticos
2	1 mW	Seguros para exposições não intencionais e observações não prolongadas (< 0,25 s)
2M	1 mW	Potencialmente perigosos aos olhos se observados por meio de instrumentos ópticos
3R	200 μ W a 5 mW	Seguros quando manipulados com cuidado e potencialmente perigosos aos olhos se observados por meio de instrumentos ópticos
3B	5 mW a 500 mW	Perigosos aos olhos nus quando observados diretamente (feixe e reflexões especulares)
4	> 500 mW	Perigosos para a pele e olhos, inclusive na observação de reflexões difusas

Fonte: IEC 60825-1:2001. *Handbook on Industrial Laser Safety, August 2001.*

Os parâmetros físicos que determinam as qualidades de cada laser podem ser resumidos em:

- Comprimento de onda λ (μm) – característica específica do espectro da radiação;
- Número de Onda ν (cm^{-1}) – é proporcional ao comprimento de onda pela razão $\nu = 1/\lambda$;
- Largura de Pulso τ (duração) – é o comprimento temporal do pulso de laser, ou seja, a duração da emissão de luz;
- Taxa de repetição f_{rep} (Hz) – número de pulsos de laser emitidos por segundo;
- Energia de Pulso E (J) – energia total de um pulso;
- Potência de pico P_{peak} (W) – energia gerada E (J) pela largura de pulso τ (s). $P_{\text{peak}} = \frac{E}{\tau}$;
- Potência Média P_{ave} (W) – é a energia de um pulso E (J) pela taxa de repetição f_{rep} (Hz). $P_{\text{ave}} = E \times f_{\text{rep}}$;
- Potência P (W) – Energia de saída por segundo;
- Tamanho do feixe A (cm^2) – é a área formada pelo laser sobre o material. $A = \pi \cdot r^2$, onde r é o raio do feixe;
- Densidade de Energia F (J/cm^2) – é a quantidade de Energia E (J) sobre a área do feixe A (cm^2). $F = \frac{E}{A}$;
- Irradiância ou Densidade de Potência I (W/cm^2) – é a Potência P (W) pela área irradiada A (cm^2). $I = \frac{P}{A}$;
- Ângulo de Divergência θ (rad) – é definido pelo fator de qualidade do feixe M^2 gerado pelo comprimento de onda λ (cm), e o raio do ponto de foco do feixe r_0 (cm). $\theta = 2 \cdot M^2 \cdot \frac{\lambda}{\pi \cdot r_0}$.

O fator de qualidade do feixe M^2 discrimina o quanto difere o laser real de um laser denominado de “Gaussiano Perfeito”, o qual é tido como 1 (feixe limitado de difração). Para qualquer feixe real (não perfeito), $M^2 > 1$ (JELÍNKOVÁ, 2013).

2.3 Laser Semicondutor

O laser semicondutor, também conhecido como diodo laser, foi desenvolvido em 1972, proporciona maior eficiência ótica e aumento na vida útil em comparação aos demais laser disponíveis. Seu rendimento é de 30 a 50 %. A luz do laser é produzida pela passagem de corrente elétrica por um diodo e podem-se obter altas potências pela associação de vários chips semicondutores. Com os avanços tecnológicos resultaram dispositivos mais confiáveis, com preços mais acessíveis e mais compactos (BARTELS, 2002; HARDY, 2013).

Os campos de aplicação em que são encontrados e amplamente utilizados os diodos semicondutores são:

- Comunicação ótica, seja por fibra ou aérea;
- Leitura e escrita de discos de memória;
- Espectroscopia e microscopia;
- Impressoras a laser e projetores;
- Processamento de materiais;
- Aplicações médicas e odontológicas.

O laser semicondutor também é utilizado como fonte de excitação para outros tipos de laser pelas qualidades de confiabilidade e eficiência (PENG, et al, 2008).

Por suas características de rendimento e de tamanho reduzido, os diodos laser são muito aplicados na área médica, compreendendo comprimentos de onda desde 200 nm (ultravioleta) até 2200 nm (infravermelho distante) (HULICIUS; KUBEČEK, 2013). O Quadro 3 apresenta as aplicações médicas mais usuais dos diodos semicondutores em tratamentos de saúde.

Quadro 3 - Aplicações médicas típicas para diferentes diodos lasers

Comprimento de onda λ (nm)	Aplicações médicas.
405	Terapia fotodinâmica.
630-635, 652, 668	Terapia fotodinâmica.
689, 730	Terapia fotodinâmica relacionada à degeneração macular relacionada a idade.
810 \pm 10	Cosmetológica, remoção de cabelo, odontológica, bioestimulação, cirúrgica, vascular e oftalmológica.
940	Remoção de varizes e aplicações cirúrgicas.
980 \pm 10	Odontológica, tratamento de próstata, cirúrgica, oftalmológica.
1064	Remoção de cabelo, remoção de tatuagem.
1210	Lipossucção.
1320-1380	Cirurgia.
1450-1470	Tratamento de acne, laserterapia endovenosa, cirurgia.
1850-2200	Tratamento de acne, substituto cirúrgico para laser de Túlio.

Fonte: DILAS. **Medical Markets**. Mainz, Alemanha. Site: <http://www.dilas.de/pages/medical.php>. Acesso em 10 de janeiro de 2012 (apud JELÍNKOVÁ, 2013).

3 LASERTERAPIA

O laser possui grande valor na medicina graças às propriedades únicas de seu tipo de luz emitida: a monocromaticidade, a coerência, a direcionalidade, e o alto brilho, formando um feixe estreito que concentra toda a radiação emitida. Sua utilização é bastante importante não apenas em diagnósticos, mas também em tratamentos terapêuticos (JELÍNKOVÁ, 2013).

Os efeitos da irradiação do laser de baixa intensidade são o de promover reações de redução químicas que alteram o metabolismo e que se propagam em cadeia (LIZARELLI, 2010).

Este capítulo mostra as principais propriedades do laser quando em interação com tecidos humanos. Também apresenta o que são as terapias fotodinâmicas e descreve em detalhes a técnica denominada ILIB (*Intravascular Laser Irradiation of Blood*) e a laseracupuntura, que são as finalidades para o projeto desenvolvido neste trabalho.

3.1 Interação da Radiação Laser com Tecidos Humanos

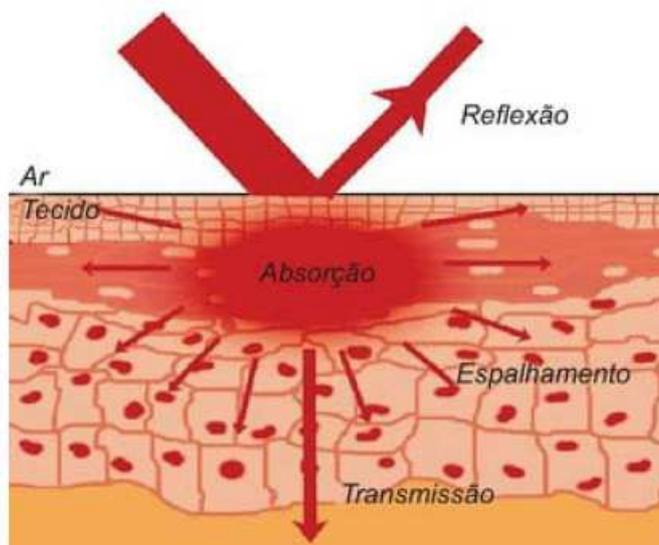
Como qualquer radiação luminosa sobre a matéria, o laser pode sofrer basicamente três fenômenos primários quando incidido sobre os tecidos biológicos humanos:

- Reflexão – quando a radiação eletromagnética incidente sobre uma superfície é devolvida ao meio do qual foi concebida. No caso, é a parte da luz laser que é rebatida novamente ao ar após alcançar a camada mais externa da pele;
- Absorção – é a diferença entre a quantidade de luz gerada e a quantidade de luz refletida, ou seja, a quantidade de energia luminosa que acaba sendo transferida para o material e se transformando em outra forma de energia (ex.: química, térmica etc.). Nos tecidos humanos a absorção é feita principalmente por proteínas e pigmentos.

- Espalhamento – é a sequência de reflexões causadas na luz laser quando atinge partículas dentro do material. Nos tecidos biológicos, a maior parte dos fótons incidentes são espalhados na mesma direção do feixe original (SILVA; ALMEIDA-LOPES; RIBEIRO, 2012).

A Figura 6 ilustra a interação da radiação sobre o tecido humano, mostrando os três fenômenos primários descritos.

Figura 6 - Esquema ilustrativo da interação da luz com o tecido biológico.



Fonte: GARCEZ, A. S.; RIBEIRO, M. S.; NÚÑEZ, S. C. **Laser de Baixa Potência: Princípios Básicos e Aplicações Clínicas na Odontologia**. Rio de Janeiro/RJ: Editora Elsevier. 2012.

Os fotorreceptores, denominados de cromóforos, são um grupo de moléculas capazes de absorver luz com um comprimento de onda específico, mesmo não sendo destinadas a esse propósito. Exemplo de cromóforos são enzimas, membranas celulares e água (LIZARELLI, 2010).

A capacidade de absorção de cada cromóforo nos tecidos humanos determina a capacidade de penetração da luz dependendo do seu comprimento de onda (λ):

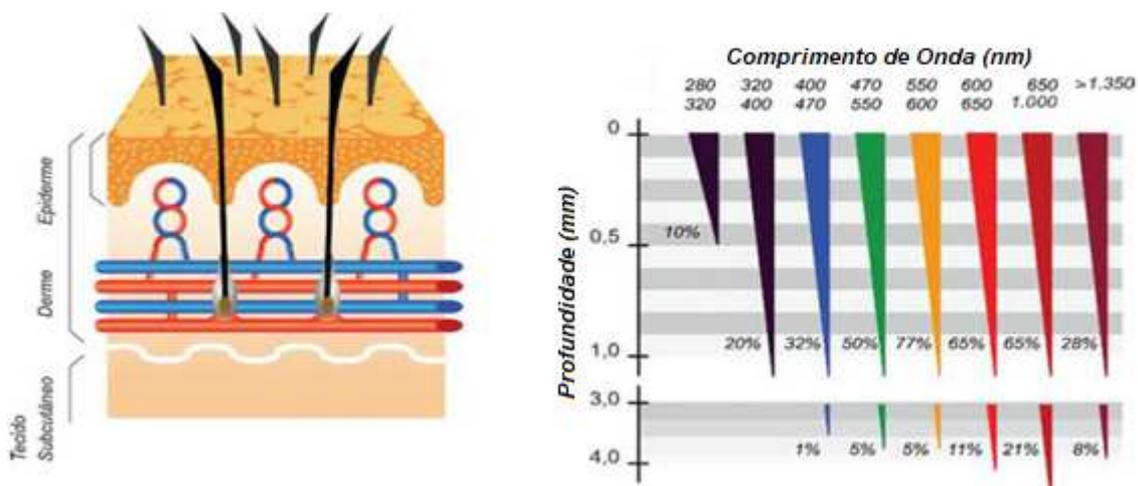
- Para λ entre 200 e 400 nm (luz ultravioleta), as proteínas e o próprio DNA são os fotorreceptores e acabam atenuando fortemente o

espalhamento da luz pelo meio biológico, assim a radiação tem pouca capacidade de penetração, abaixo de 0,5 mm;

- Entre 400 e 600 nm para λ (luz visível), os principais cromóforos são a oxihemoglobina, a hemoglobina e a melanina. Nesta faixa, há fortemente o efeito de absorção, mas também há detecção de espalhamento do feixe, permitindo assim a penetração da radiação de aproximadamente 0,5 a 2,5 mm de profundidade.
- Para a faixa compreendida entre $\lambda = 600$ nm e $\lambda = 1500$ nm (final da luz visível e início da faixa infravermelha), os cromóforos mais relevantes são os mesmos do feixe visível, no entanto, a capacidade de penetração pode chegar até 10 mm de profundidade.
- E faixas acima de 1500 nm para λ , os cromóforos ativados são principalmente a água e a hidroxiapatita, no entanto, nessa faixa os tecidos mais superficiais (tecidos moles) apresentam pouca capacidade de penetração pelo baixo espalhamento. (SILVA; ALMEIDA-LOPES; RIBEIRO, 2012)

No Gráfico 1 é apresentada a capacidade de penetração de vários comprimentos de onda, levando-se em consideração a pele sadia.

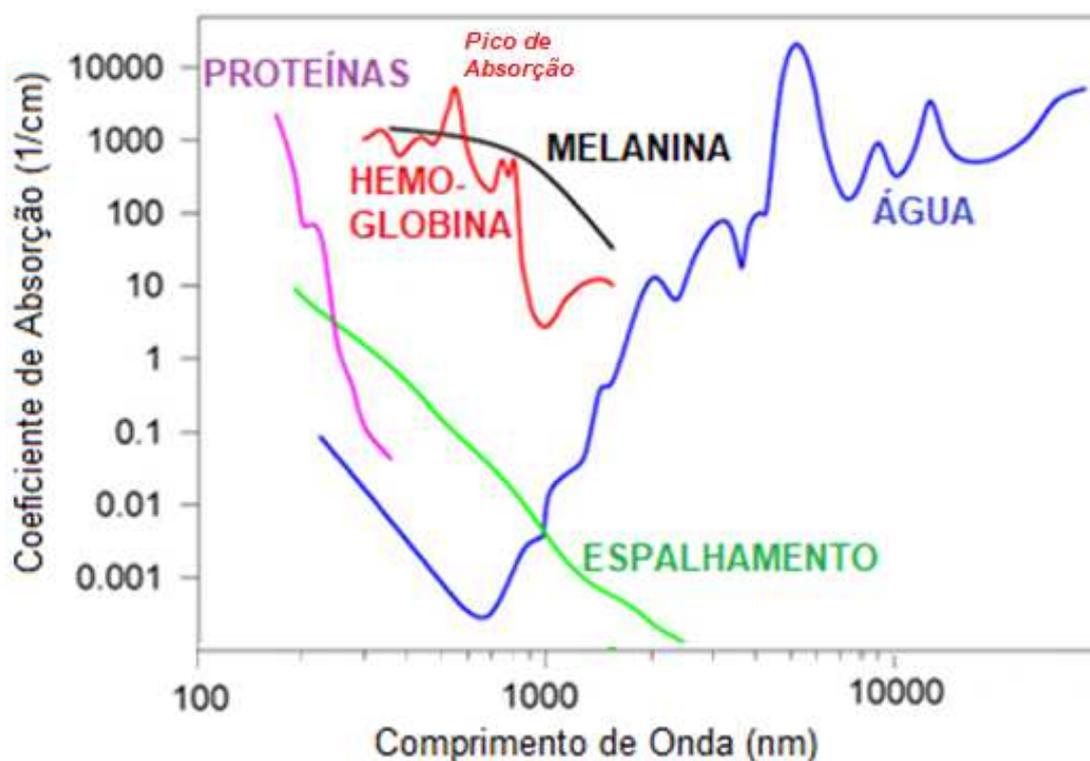
Gráfico 1 - Profundidade de penetração na pele humana sadia para vários comprimentos de onda.



Fonte: GARCEZ, A. S.; RIBEIRO, M. S.; NÚÑEZ, S. C. **Laser de Baixa Potência: Princípios Básicos e Aplicações Clínicas na Odontologia.** Rio de Janeiro/RJ: Editora Elsevier. 2012.

O Gráfico 2 apresenta o espectro de absorção dos principais cromóforos do organismo humano e do espalhamento do laser conforme o comprimento de onda. Nota-se que o pico do coeficiente de absorção do laser pela hemoglobina ocorre entre 600 nm e 700 nm, delimitando a faixa de comprimento de onda para laserterapia ILIB. Também se verifica que a melanina apresenta coeficiente de absorção próximo de 1000/cm para a mesma faixa. Sendo assim, a melanina presente na pele tem capacidade de absorver parte da energia transmitida para o sangue. E quanto maior sua concentração (tons de pele escuros), menor é a capacidade de transmissão do feixe luminoso entre 600 nm e 700 nm até a hemoglobina. Torna-se, então, imprescindível atuar na faixa de pico para obter resultados mais eficientes para o tratamento.

Gráfico 2 - Espectro de absorção de água, hemoglobina, melanina e proteínas e do espalhamento no tecido.



Fonte: PENG, Q, et al. **Lasers in Medicine**. IOP Publishing. Reino Unido. 2008.

Além dos fenômenos de absorção e espalhamento, que têm sua intensidade dependente do comprimento de onda utilizado, outros efeitos secundários são observados dependendo da densidade de potência e do tempo de exposição dos tecidos ao laser. Esses efeitos podem ser classificados de cinco maneiras diferentes, apresentados nos itens 3.1.1 a 3.1.5. (JELÍNKOVÁ, 2013).

3.1.1 Modo Eletromecânico, fotomecânico ou fotodisruptivo

Este modo é caracterizado pela exposição do tecido biológico a intervalos de nanosegundos ou poucos microssegundos, mas com alta quantidade de energia. A exposição laser na ordem de 10^{10} a 10^{12} W/cm² é suficiente para quebrar uma molécula, formando regiões ionizadas. Essa exposição leva a ruptura dos tecidos. É bastante aplicado na área de oftalmologia, por exemplo em cirurgias de catarata. (PENG, et al, 2008).

3.1.2 Modo Ablativo

Ablação em termos técnicos significa a combinação de processos químicos e físicos de remoção de material da superfície de um objeto. É um processo transitório entre o mecânico e o térmico. Durante a absorção da energia do laser e o aquecimento do tecido, o material tende a expandir tentando manter o equilíbrio térmico com o tecido ao redor. Graças a distribuição não uniforme da temperatura, ocorrem deformações termoelásticas e a geração de ondas de compressão que se propagam pelo tecido. A mudança energética ocorre em tempo menor que o material pode responder mecanicamente, o que causa quebra das ligações químicas do material. (KOCHIEV, et al, 2013).

A densidade de potência para a fotoablação é da ordem de 10^7 a 10^{10} W/cm² durante um tempo de exposição de dezenas de nanosegundos até alguns microssegundos (JELÍNKOVÁ, 2013).

A ablação normalmente é realizada por comprimentos de onda ultravioleta para maior transferência energética e menor produção de calor. Exemplos de aplicações médicas são cirurgia de juntas, litotripsia e angioplastia (PENG, et al, 2008).

3.1.3 Modo Fototérmico, Coagulativo ou Vaporizante

A interação fototérmica é resultado da transferência da energia do fóton absorvida pelo tecido, que resulta em calor. Isso causa vibrações e colisões de moléculas que em escala macroscópica se refletem em aumento na temperatura e conseqüentemente a efeitos como coagulação e vaporização, chegando até mesmo a carbonização ou derretimento dos tecidos. Esse efeito pode ser realizado por laser de variados comprimentos de onda visíveis e infravermelhos. A densidade de potência para o efeito fototérmico normalmente é de 10 a 10^6 W/cm² e o tempo de exposição de 1 μ s a 1 minuto. Suas principais aplicações na medicina são cortar e perfurar tecidos moles e ósseos e coagulação de retina (JELÍNKOVÁ, 2013).

3.1.4 Modo Fotoquímico ou Fotodinâmico

Praticamente todas as reações químicas ocasionadas na fotosensibilização e que são biologicamente relevantes são dependentes da formação de Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) (PENG, et al, 2008).

As ERO são moléculas instáveis e bastante reativas que possuem a capacidade de transformar outras moléculas com as quais colidam, são a classe de radicais livres mais importantes dentre as geradas por organismos vivos. Elas, em alta quantidade, podem causar danos a organelas células, ácidos nucleicos, lipídeos e proteínas, bem como danos aos tecidos biológicos. São produzidas durante o fenômeno chamado de stress oxidativo, em que o oxigênio absorvido durante a respiração é reduzido quando em combinação com a água. A

combinação do O_2 com H_2O produz radicais livres como o superóxido ($O_2^{\cdot-}$), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e a hidroxila (OH^{\cdot}) (SILVA; GONÇALVES, 2010).

O superóxido é o maior agente citotóxico no processo fotodinâmico e para anular seus efeitos, é necessário sintetizar a molécula em um estado de excitação mais baixo, o estado triplo ($O_2^{\cdot\cdot}$). O processo fotodinâmico utiliza mais frequentemente a luz vermelha (aproximadamente 630 nm) pela capacidade de penetração pelos tecidos (entre 1 e 3 mm a 630 nm). (PENG, et al, 2008).

O modo fotoquímico ou fotodinâmico é realizado com densidade de potência de valores baixos, normalmente $1W/cm^2$ e tempos de exposição prolongados de milissegundos até exposição contínua. Assim, a energia transmitida não gera aumento significativo de temperatura dos tecidos biológicos e o tempo de exposição aumenta o número de fótons absorvidos (JELÍNKOVÁ, 2013).

Para evitar a extensa exposição (maior que 30 minutos) é preciso considerar o limite de hipertermia (temperatura entre 42 e 45 °C) caso a presença do sensibilizador esteja muito baixa. (PENG, et al, 2008).

Os efeitos fotoquímicos e fotodinâmicos mostram-se positivos na estimulação do sistema imunológico, hormônios e sistemas neuroendócrinos. Também é recomendado para tratamentos relacionados ao sistema vascular, reduzindo a incidência de doenças vasculares, como hipertensão e estenoses de vasos sanguíneos (MIKHAYLOV, 2015).

3.1.5 Modo de Bioestimulação

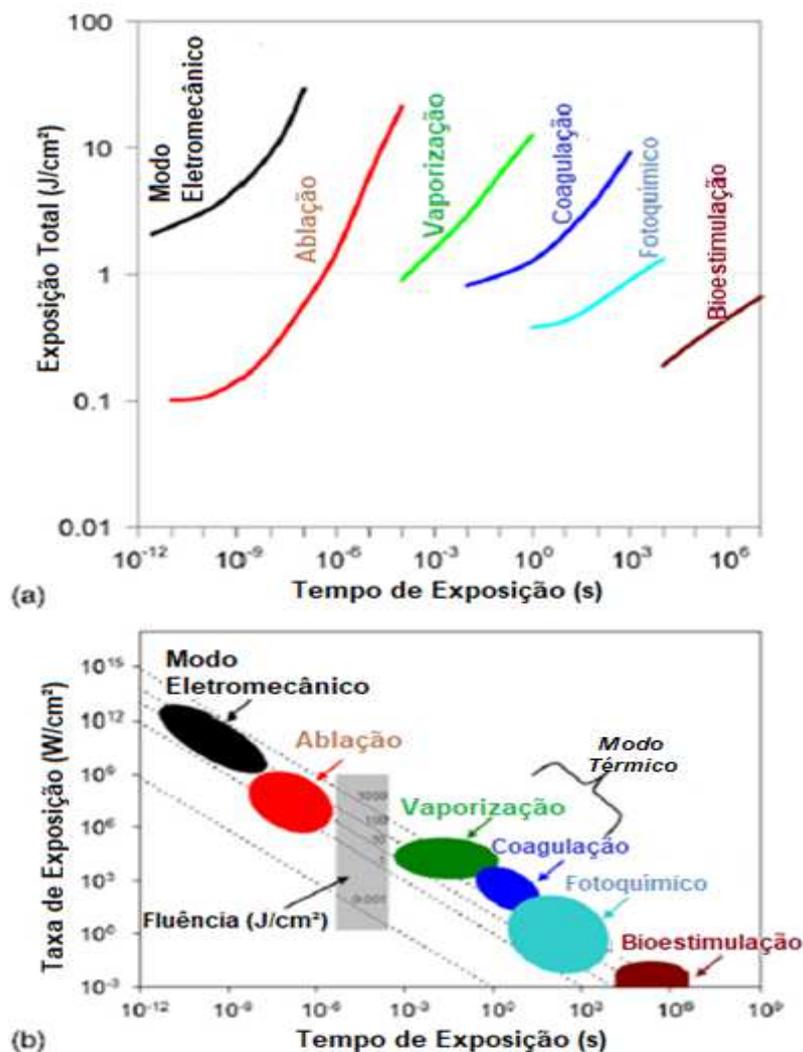
O processo de fotobioestimulação é o resultado de algumas reações fotoquímicas que aceleram o metabolismo celular, e conseqüentemente, aumentam a velocidade de recuperação das células (SIPOSAN, 2013).

É o fenômeno buscado pelas chamadas “Terapias a Laser de Baixa Intensidade” (*low-level laser therapy* ou LLLT). A potência dos lasers utilizados nessas terapias é da ordem de 10^{-3} W a 10^{-1} W e seu comprimento de onda encontra-se na faixa em que a água apresenta baixa capacidade de absorção

(entre 400 e 1000 nm). A aplicação direta do laser proporciona como efeitos principais a estimulação da recuperação dos tecidos moles, anti-inflamatório e redução de dores, sem causar o aquecimento da região. Como exemplo de utilizações médicas e dentárias, cita-se a recuperação de feridas causadas por herpes labial e extração dentária (DOSTÁLOVÁ; JELÍNKOVÁ, 2013).

O Gráfico 3 apresenta os modos de interação laser-tecido considerando a quantidade total de energia fornecida e a densidade de energia em relação ao tempo de exposição.

Gráfico 3 - Tipos diferentes de interação laser-tecido dependendo do total de exposição e o tempo de exposição (a); diferentes tipos de interação laser-tecido dependendo da taxa de exposição e do tempo de interação (b)

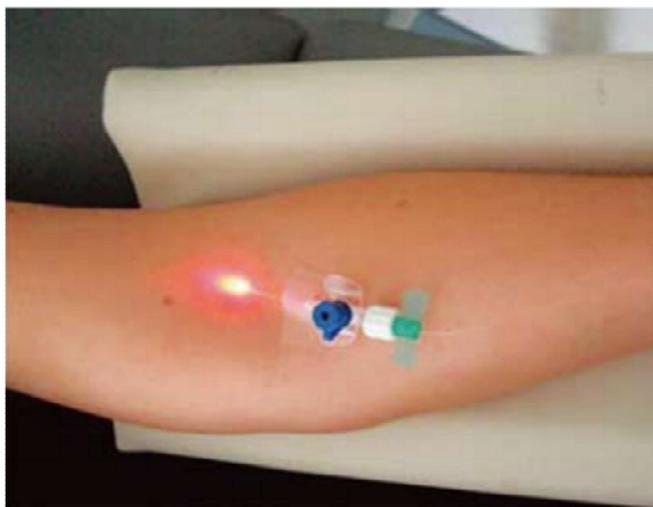


Fonte: PENG, et al. **Lasers in Medicine**. IOP Publishing. Reino Unido. 2008.

3.2 Irradiação do Sangue Intravascular com Laser (ILIB)

A terapia conhecida como ILIB (*Intravascular Laser Blood Irradiation*), foi apresentada em 1981 por cientistas soviéticos para o tratamento de doenças cardiovasculares. Foram constatadas na época, a melhora nos indicadores de microcirculação e nas características de circulação sanguínea, conseqüentemente, os índices de infartos, disritmia e morte súbita por patologias cardíacas também apresentaram melhora. Inicialmente, era usada uma fonte de radiação laser de *He-Neon* com comprimento de onda de 632,8 nm e potência entre 1 a 3 mW, inserido diretamente no vaso sanguíneo do paciente (Figura 7). O tratamento constituía de uma ou duas sessões diárias de 20 a 60 minutos de exposição durante 10 dias. No entanto, notou-se que além dos indicadores cardíacos, o laser também apresentou efeitos em outros órgãos, no próprio sistema sanguíneo e imunológico (WEBER, 2009).

Figura 7 - Aplicação de laser com método invasivo.



Fonte: WEBER, M. H. **The Intravenous Laser Blood Irradiation – Introduction of a New Therapy**. Medical Center, Lauenförde, Germany. 2009.

Atualmente a aplicação do laser pode ser feita de forma não invasiva, apontando o feixe em direção a artéria que será irradiada (SILVA, 2013). A aplicação da terapia de forma tópica é chamada de ILIB Russa ou ILIB

Modificada, e é feita aplicando-se o laser de baixa potência vermelho (aproximadamente 660 nm) continuamente sobre a artéria radial (GOMES; SCHAPOCHNIK, 2017).

Os efeitos do ILIB estão bastante ligados à cadeia respiratória, em alguns casos ativando reações químicas ligadas a homeostase. (SOBOL; SHEKHTER; BASKOV, 2013).

Quando o sangue absorve a luz vermelha, ocorre o aumento na síntese da Superóxido Dismutase, que é a proteína mais importante na regulação do sistema oxidativo do corpo humano, com isso interrompe a ação das espécies reativas de oxigênio (EROs). O ILIB também pode atuar favorecendo à anti-agregação plaquetária e na produção de ácido araquidônico. Assim, são notadas a atenuação dos processos de envelhecimento e mutação celular, redução dos processos inflamatórios e diminuição do risco de problemas vasculares (GOMES; SCHAPOCHNIK, 2017).

3.3 Acupuntura com Laser (Laseracupuntura)

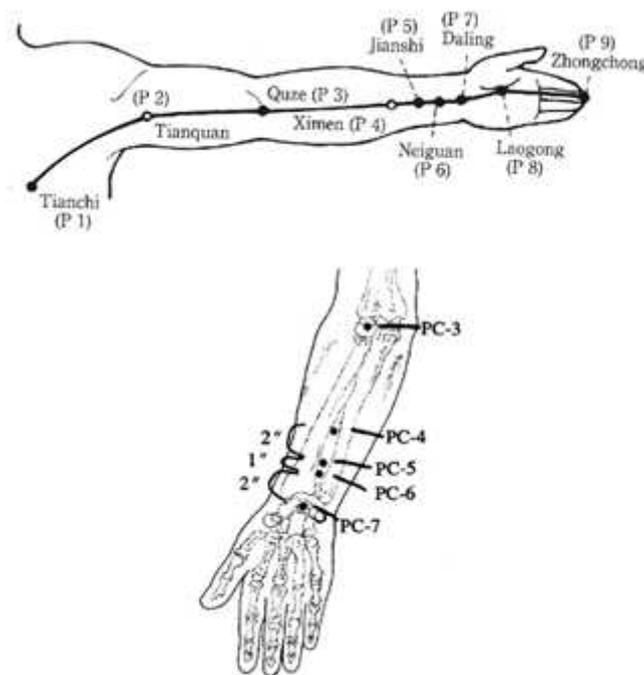
A acupuntura faz parte das técnicas da medicina chinesa tradicional, consistindo da inserção de agulhas em pontos específicos do corpo humano no intuito de balancear as forças opostas e inseparáveis do *Yin* e *Yang* e também suavizar o fluxo do *qi* do indivíduo (ZHANG, et al, 2008).

A acupuntura mostra-se efetiva na estimulação do sistema nervoso central e periférico, promovendo restauração e manutenção da saúde, entretanto, os riscos de contaminação e lesões transcutâneas geram receio para uma parcela de pacientes. Assim, a utilização do laser de baixa potência sobre os pontos da acupuntura, seguindo os princípios da medicina chinesa, trazem resultados terapêuticos semelhantes, e a essa técnica dá-se o nome de laseracupuntura (OLIVEIRA, et al, 2015).

A laseracupuntura pode melhorar a atividade enzimática intracelular, regular o sistema imunológico, reduzir a concentração de substâncias

inflamatórias e recuperar danos em nervos, além de produzir efeitos anti-inflamatórios e analgésicos (AVIJGAN, et al, 2017).

Figura 8 - Pontos de acupuntura no braço e antebraço.



Fonte: DHARMANANDA, S. **Neiguan (Pericardium-6)**. Institute for Traditional Medicine, Portland, Oregon. EUA. Site: <http://www.itmonline.org/arts/pc6.htm>. Acesso em 24 de dezembro de 2018.

O ponto PC6 da acupuntura, também chamado de *Neiguan* ou “Passagem Interna”, fica posicionado no meridiano do Pericárdio, entre os tendões dos músculos flexor radial do carpo e palmar longo no antebraço, a um sexto da distância entre a prega cubital e a prega distal, sobre o nervo mediano (Figura 8). A aplicação nesse ponto pode ser feita por métodos invasivos e não invasivos e é recomendada para etiologias como quimioterapia, pós-operatório, gestação, etc. Também se notam efeitos positivos no trato gastrointestinal, no tronco encefálico (pela liberação de opióides endógenos) e no controle da dor em nível medular e sistema nervoso simpático (TONEZZER, et al, 2012).

3.4 Considerações Sobre o Laser para a Laserterapia ILIB Modificada

Após a realização da pesquisa bibliográfica deste trabalho, destacam-se características fundamentais para a seleção do laser e para seu modo de operação para a realização da técnica ILIB Modificada apresentada no item 3.2. As características buscadas são:

- Os lasers semicondutores são mais compactos e tem melhor rendimento que os demais tipos e são os mais recomendados para aplicações médicas (Item 2.3);
- O comprimento de onda mais aconselhado para o laser é entre 600 nm e 700 nm pelas características de capacidade de penetração do laser pelos tecidos biológicos que pode chegar a 10 mm de profundidade e por estimular a oxihemoglobina e a hemoglobina, cromóforos mais relevantes para a terapia (item 3.1);
- A densidade de potência luminosa do laser deve ser inferior a 1 W/cm² para realizar os efeitos fotoquímicos e de bioestimulação (itens 3.1.4 e 3.1.5), que são os efeitos desejados para a ILIB;
- Os efeitos de fotobioestimulação e fotoquímicos são obtidos por uma exposição prolongada do sangue à luz laser, na ordem de alguns minutos até algumas horas (Gráfico 3);
- Incidir o laser sobre a artéria radial é a maneira recomendada atualmente para a realização da ILIB não-invasiva (Item 3.2);
- A laseracupuntura é um tratamento que também pode ser aplicado em associação a ILIB, aproveitando a proximidade do ponto PC6 para a artéria radial (Figura 8) produzindo efeitos benéficos complementares ao tratamento.

Essas informações compõem parte das características que o aparelho desenvolvido neste trabalho deve atender para ser aplicável à laserterapia ILIB Modificada. Elas serão associadas com outras características apresentadas no capítulo 4 durante a etapa de desenvolvimento do protótipo.

4 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO PORTÁTIL DE LASERTERAPIA *ELIB DEVICE*

Este capítulo apresenta os estágios de desenvolvimento do dispositivo portátil para laserterapia, baseado no tratamento ILIB. Inicialmente é mostrado o *benchmarking*¹ do dispositivo para avaliar as características principais dos produtos semelhantes no mercado. Em seguida são discutidas as características necessárias para que o aparelho possa atender aos requisitos do tratamento e apresentados os diferenciais para o produto em desenvolvimento.

A partir das informações listadas, será mostrado o processo de elaboração e fabricação do protótipo funcional que, posteriormente, será utilizado pelo médico Dr. Augusto José Santos Ferreira² em seus trabalhos de pesquisa. Este trabalho não irá apresentar as pesquisas feitas pelo médico, e sim o desenvolvimento e o funcionamento do protótipo.

4.1 *Benchmarking*

Em pesquisa realizada durante a fase preliminar do trabalho, foram observados os produtos listados nos títulos 4.1.1 a 4.1.3. O intuito é o de estudar os pontos fortes e fracos de cada produto existente em busca de oportunidades de inovação que possam destacar o dispositivo desenvolvido neste trabalho em relação aos seus concorrentes no mercado nacional. As informações foram obtidas de sites especializados no comércio de produtos médicos.

¹ *Benchmarking* é um processo de pesquisa em que profissionais comparam produtos, práticas e métodos de seus concorrentes, selecionando as características que mais interessam e as adequam às particularidades de seu próprio negócio (ENDEAVOR BRASIL, 2018).

² Augusto José Santos Ferreira (CRM 103.576) – Graduado em Medicina pela Universidade Estadual do Pará. Coordenador do Pronto Socorro do Hospital Samaritano de Sorocaba. Presidente da Sociedade Científica de Saúde Integrativa. Diretor Executivo e Vice-Presidente da Sociedade Brasileira de Laser (Socilaser).

4.1.1 *Recover Mm Optics*

Este produto é indicado para tratamentos de laser acupuntura pré e pós-operatórios, terapia neural, feridas, úlceras, queimaduras, ortopedia, reumatologia e otorrinolaringologia. Possui formato de caneta com ponta emissora de luz com área de 3 mm² (Figura 9), autonomia da bateria de até 4 horas de uso contínuo, possibilidade de emissão em 660 e 808 nm com potência de até 100 mW, display digital com teclas para programação da rotina de tratamento. Possui base exclusiva ligada à rede elétrica para carregamento da bateria. Suas dimensões nominais são de 320 x 250 x 120 mm (C x L x A) e peso de 1,60 kg. Para realizar a função ILIB, é necessário adquirir uma pulseira a parte. O valor de venda do produto pelo site BCMed na data de elaboração do trabalho é de R\$ 3850,00 e o da pulseira de R\$ 150,00. (site: www.bcmmed.com.br)

Figura 9 – Equipamento Recover Mm Optics



Fonte: BCMED. **Recover Mm Optics – Laserterapia e Terapia Fotodinâmica Bivolt.** Site: <<https://www.bcmmed.com.br/recover-mm-optics-laserterapia-e-terapia-fotodinamica-bivolt>>. Acesso em 08 de outubro de 2018.

Avaliando as informações sobre este produto, destacam-se como pontos fortes:

- A comodidade pelo aparelho utilizar bateria, com autonomia para até quatro horas de utilização;
- Laser com comprimento de ondas de 660 nm, ideal para o efeito fotoquímico do ILIB;
- Potência irradiada condizente com o necessário. Considerando a potência máxima de 100 mW pela área emissora de luz de 3 mm², isso produz uma densidade de potência de, no máximo, 3,33 W/cm², que, conforme apresentado no item 3.1, é o indicado para realizar os efeitos fotoquímicos e de bioestimulação;
- Possui pulseira com região específica para o acoplamento do laser, sem a necessidade do profissional de saúde ou do próprio paciente intervir durante a aplicação.

No entanto, podem-se destacar os seguintes pontos fracos:

- Dimensões e peso consideráveis, dificultando o transporte e a acomodação do produto;
- Ponto único de emissão de laser, reduzindo a área de exposição;
- Mesmo com a pulseira, o paciente deve evitar movimentar o braço durante a aplicação para não prejudicar o tratamento. Para períodos prolongados de exposição, isso pode ser incômodo para o paciente;
- Base para carregamento exclusiva. Em caso de falha ou perda da base, não há outras formas de carregar o dispositivo emissor de laser.

4.1.2 *Lasermed 650 nm 12 mW*

Este equipamento é recomendado para uso fisioterapêutico, dermatológico, estético e de acupuntura. O formato de seu emissor laser é de uma caneta conectada via cabo a uma base fixa alimentada diretamente pela energia da tomada (Figura 10). Ele é fornecido com laser no comprimento de onda de 650 nm e potência luminosa de 12 mW para uso contínuo, mas também

há a opção de adquirir outras canetas emissoras de laser nos comprimentos 905 nm com 60 mW pulsado e 830 nm com 20 mW contínuo. Não há informações quanto à possibilidade de utilização como ILIB e nem do fornecimento de pulseira. A base possui display e a possibilidade de seleção de modos de operação e gravação de protocolos. Seu peso anunciado é de 2,6 kg e as dimensões de 310 x 180 x 60 mm (C x L x A). O preço de aquisição do equipamento na data da pesquisa, considerando apenas o emissor de 650 nm e 12 mW, é de R\$ 2710,00 (site: www.produtoshospitalaresonline.com.br).

Figura 10 – Equipamento Lasermed.



Fonte: PRODUTOS HOSPITALARES ONLINE. **Laser para Terapia Lasermed com Caneta Laser 650 nm 12 mWatts – Carci.** Site: https://www.produtoshospitalaresonline.com.br/laser-para-terapia-lasermed-com-caneta-laser-650-nm-12-watts-carci/campanha_id/44?gclid=Cj0KCQjwgOzdBRDIARIsAJ6_HNmJdRMo5W49UB74tE_OpRwxrj38kpgOpIZA3M11YGjCQra tx9Zo54aApb3EALw_wcB. Acesso em 08 de outubro de 2018.

Fazendo a análise dos pontos fortes, destaca-se:

- Possui o comprimento de onda recomendado para a técnica do ILIB (650 nm).
- Possui diversos modos de programação.

Porém, avaliando os pontos fracos, nota-se:

- A potência emitida é inferior comparada ao modelo anterior, oferecendo no máximo 400 mW/cm² de densidade de potência, causando pouco efeito fotoquímico;
- Somente um único ponto de emissão de luz;
- Não foi encontrada nenhuma informação sobre a utilização especificamente para ILIB;
- Não foi encontrada nenhuma informação sobre pulseira para evitar a necessidade de uma pessoa ou apoio sustentando o produto durante a aplicação;
- Dimensões e peso considerando o equipamento todo (base e aplicador) superiores ao modelo apresentado no item 4.1.1;
- O dispositivo emissor não possui bateria, assim restringindo a sua manipulação ao comprimento do cabo, além de expor o usuário ao risco de choque elétrico.

4.1.3 *Laserpulse Ibramed 660 nm*

Segundo o fabricante, foi desenvolvido para utilização em fisioterapia e estética. Seu formato é constituído por uma base fixa alimentada diretamente pela tomada com uma caneta laser ligada via cabo a base (Figura 11). As canetas laser podem ser obtidas com comprimento de ondas de 660 nm com 30 mW de potência e 830 nm com 30 mW ou 70 mW de potência. Pode ser programado para operar em modo contínuo ou pulsante com frequência selecionável entre 2,5 Hz a 2 kHz. Não há menção ao seu uso especificamente para ILIB e nem o fornecimento de pulseira. As dimensões anunciadas são de 365 x 325 x 120 mm (C x L x A) e peso declarado de 1,6 kg. Seu preço de venda na data da pesquisa era de R\$ 2373,00 (site: www.shopfisio.com.br).

Figura 11 – Equipamento Laserpulse Ibramed.



Fonte: SHOPFISIO. **Laserpulse Ibramed – Aparelho de Laser e Caneta 660 nm Vermelha**. Site: <https://www.shopfisio.com.br/laserpulse-ibramed-aparelho-de-laser-e-caneta-660nm-vermelha-p1062112?tsid=86>. Acesso em 08 de outubro de 2018.

As vantagens deste modelo são:

- Preço mais acessível que o modelo apresentado no item 4.1.2;
- Comprimento de onda indicado para a utilização em tratamentos com ILIB (660 nm);
- Potência emitida inferior ao modelo do item 4.1.1, fornecendo a densidade de potência máxima de 1 W/cm², no entanto, ainda suficiente para os efeitos fotoquímicos e de bioestimulação.

As desvantagens destacadas são:

- Ponto único de emissão de luz;
- Não há menção para seu uso especificamente para ILIB;
- Não há menção de fornecimento de pulseira ou suporte para apoiar o produto na posição de aplicação;

- O dispositivo emissor é conectado à base via cabo, restringindo seus movimentos;
- O peso e as dimensões são equivalentes ao produto do item 4.1.1.

4.2 Características do Protótipo Desenvolvido

Baseando-se nos princípios físicos e biológicos do laser e da técnica ILIB estudados nos capítulos 2 e 3, e considerando a análise dos produtos similares de mercado feita no item 4.1, foram propostas as principais características para o protótipo em desenvolvimento. As características propostas foram:

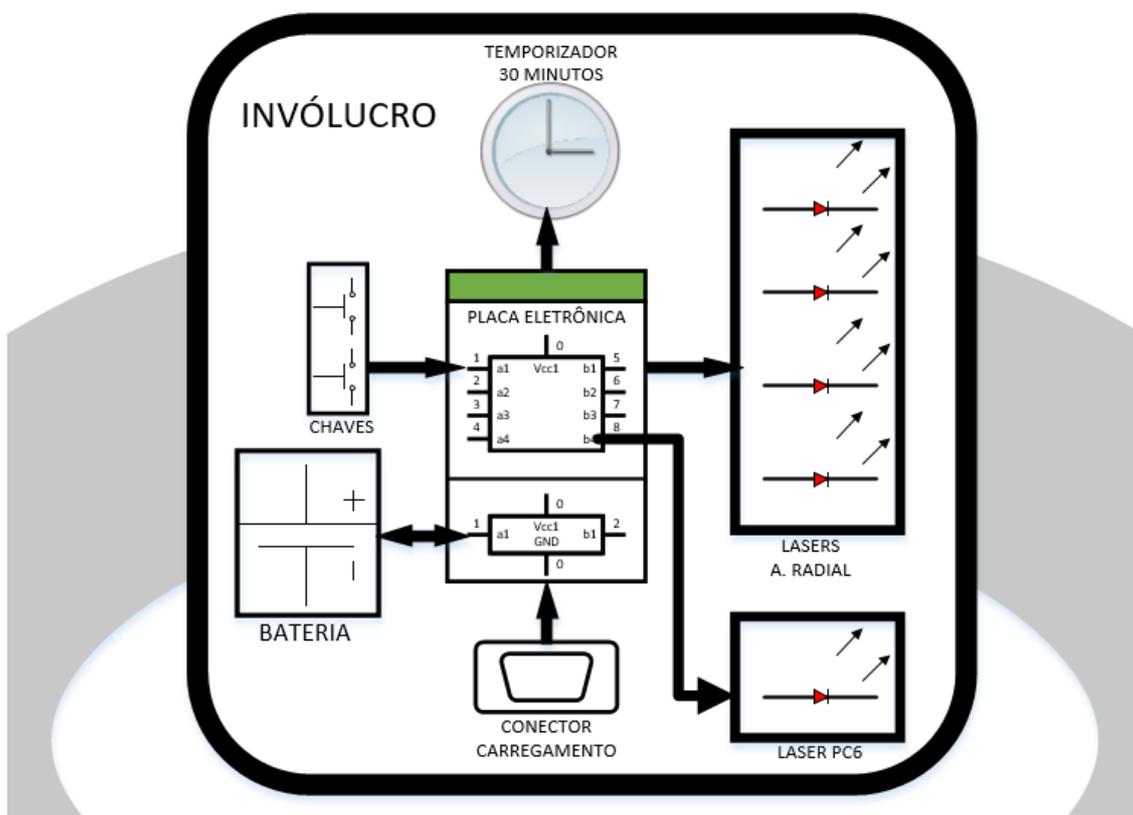
- O dispositivo emissor de laser deverá ser alimentado por bateria para permitir a liberdade de movimentos durante as sessões de tratamento;
- Temporizador de até 30 minutos para cada sessão;
- A bateria deve ter autonomia de aproximadamente 3 horas, permitindo a realização de até 6 sessões de 30 minutos sem a necessidade de recarga;
- Pulseira para fixar o emissor ao paciente, impedindo que o laser se desloque da posição correta durante o tempo de tratamento;
- Formato anatômico para se adequar confortavelmente ao paciente;
- Peso e dimensões reduzidas em relação aos modelos comerciais apresentados em 4.1, permitindo facilidade de transporte, armazenamento e utilização;
- Laser com $660 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ para atender à faixa de comprimento de onda capaz de realizar a bioestimulação e os efeitos fotoquímicos;
- Densidade de potência acima de 1 W/cm^2 para realizar os efeitos fotoquímicos e de bioestimulação;
- Utilizar mais de um emissor laser sobre a artéria radial para ampliar a área de incidência, no intuito de favorecer a interação do laser com os tecidos biológicos, não concentrar muita energia em um único ponto para evitar efeitos térmicos e reduzir as chances de aplicar o laser fora da região da artéria;

- Dedicar um emissor laser para realizar acupuntura no ponto PC6 (*Neiguan*) para benefícios adicionais ao tratamento;
- Valor do protótipo competitivo com os produtos analisados no item 4.1;
- O carregamento da bateria pode ser realizado por carregadores comuns existentes no mercado;
- Produto de fácil operação, dispensando treinamento prévio.

A partir destas premissas, pode-se desenvolver as características mecânicas e eletrônicas do protótipo, dividindo sua fase de projeto em *Design Físico* (apresentado no item 4.3), *Hardware* (item 4.4) e *Firmware* (item 4.5).

A Figura 12 apresenta um diagrama inicialmente desenvolvido apresentando a disposição simplificada das funcionalidades do aparelho.

Figura 12 - Diagrama básico do produto.



Fonte: Elaboração própria.

4.3 Design Físico

Com o objetivo de produzir um produto compacto, leve e anatômico, com pulseira para prender adequadamente o dispositivo ao paciente e garantir sua mobilidade, optou-se por desenvolver um protótipo com formato similar ao de um relógio de pulso. Esse conceito foi encontrado em sites estrangeiros como *Aliexpress.com* e *Amazon.com*, como podem ser vistos na Figura 13, no entanto, esse tipo de produto não é encontrado no mercado nacional.

Para que seja possível alcançar um formato semelhante, desenvolver um produto com preço competitivo evitando investir em moldes de injeção e componentes exclusivos, optou-se por soluções de mercado que reduzam os custos de projeto e fabricação.

Figura 13 – Aparelhos de laserterapia portáteis importados.



Fontes: AMAZON. **Laser Therapy for Pain Medicomat – 17C Laser Healing Light Therapy Electronic Acupuncture Wrist Type.** Site: <https://www.amazon.com/Therapy-Medicomat-17C-Healing-Electronic-Acupuncture/dp/B00I2SSCV6>. Acesso em 22 de outubro de 2018.

ALIEXPRESS. **Laser Therapy Wrist Diode LLLT 650 nm Low Level Frequency Diabetes Hypertension Treatment Watch Laser Sinusitis Therapy Device.** Site: https://www.aliexpress.com/item/Laser-Therapy-Wrist-Diode-LLLT-650nm-Low-Level-Frequency-Diabetes-Hypertension-Treatment-Watch-Laser-Sinusitis-Therapy/32928299791.html?ws_ab_test=searchweb0_0,

searchweb201602_3_10065_10068_318_10547_5727820_319_10548_317_10696_450_10084_10083_10618_452_535_534_533_10307_532_5024920_204_10059_10884_323_10887_100031_320_321_322_5727615_5727715_10103_448_449,searchweb201603_35,ppcSwitch_0&algo_expid=49e82d3c-91e4-4a9e-93b7-45cb6056d067-5&algo_pvid=49e82d3c-91e4-4a9e-93b7-45cb6056d067&transAbTest=ae803_5. Acesso em 22 de outubro de 2018.

4.3.1 Pulseira *Applewatch*®

Visando economia, optou-se por utilizar uma pulseira de relógio facilmente adquirível no mercado. O *smartwach* da *Apple*®, *Applewatch*®, é um modelo de relógio popular e que apresenta uma variedade de peças e acessórios facilmente encontrada no mercado nacional e com preços acessíveis. Dentre essas peças, há vários modelos de pulseiras a venda por uma série de lojas.

Optou-se pelo modelo de pulseira esportiva, feito em silicone (Figura 14). O silicone é um material bastante flexível e durável, além de ser lavável, o que permite a higienização da pulseira após cada sessão do tratamento. Além disso, o modelo esportivo apresenta uma quantidade grande de furos, permitindo ajustar a pulseira para vários diâmetros de pulsos. Em pesquisa realizada no site *Mercadolivre.com.br* durante o desenvolvimento do trabalho, verificou-se que preços deste item variam entre 29 e 40 reais por unidade, mas certamente, a compra em quantidades maiores, diretamente de fabricantes ou fornecedores internacionais, diminuirá o custo.

Figura 14 – Pulseira esportiva para *Applewatch*.



Fonte: MERCADO LIVRE. **Pulseira Esporte Borracha 42 mm para Apple Watch Series 1 2 3**. Site: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1070835359-pulseira-esporte-borracha-42mm-para-apple-watch-series-1-2-3-_JM. Acesso em 22 de outubro de 2018.

4.3.2 Temporizador e indicador de baterias com Leds

Os modelos apresentados na Figura 13 possuem *display* de LCD alfanumérico para informar basicamente a temporização e a carga da bateria. No entanto, os *displays* de LCD mais comuns de mercado possuem dimensões difíceis de serem comportadas em um aparelho semelhante a um relógio, além de terem um custo considerável, visual pouco atrativo e consumirem uma quantidade de energia da bateria de algumas dezenas de miliampères, o que acarretaria em aumentar a capacidade e conseqüentemente o tamanho da bateria, aumentando as dimensões finais do produto.

Para produzir um *display* com dimensões e estética mais compatíveis com o resultado esperado para o produto, seria necessário desenvolver junto a um fabricante de *displays* de LCD um modelo exclusivo para esta aplicação, o que geraria custos de engenharia e também exigiria a fabricação de lotes na casa de milhares de unidades para compensar financeiramente.

Devido a essas dificuldades, optou-se por apresentar as informações de temporização e de carga de bateria utilizando leds indicativos com encapsulamento padrão SMD 0805 (2,0 mm de altura x 1,2 mm de largura x 0,5 mm de altura). Uma coluna formada por seis (6) leds representa o tempo de operação do produto, formando uma escala na qual cada led aceso representa um acréscimo de tempo de operação de cinco (5) minutos. Assim, é possível selecionar de 5 a 30 minutos de sessão.

O modelo de escolhido foi o led vermelho (fazendo referência a cor do laser) 150080SS75000, da empresa *Würth*, com corrente nominal de 20 mA (WURTH ELEKTRONIK, 2019). A escolha de leds no lugar de *display* permitiu a redução de custos para montagem do protótipo, redução das dimensões e diminuição no consumo de energia da bateria.

Também foi colocado um led modelo XZMDKVG54W-4, da empresa *Sunled*, para indicar o *status* da bateria. Um led bicolor (vermelho e verde) sinaliza quando a bateria está próxima de acabar e quando ela está totalmente carregada. Esse componente também possui encapsulamento padrão SMD 0805 e consumo nominal de 20 mA (SUNLED, 2016).

4.3.3 Diodos Lasers e Disposição

Para o produto em questão, o tipo de laser mais adequado é o laser semicondutor, que apresenta dimensões reduzidas e maior eficiência energética. Essas características são cruciais para que o protótipo seja compacto, leve e com pouco aquecimento, de modo a não se tornar desconfortável para o usuário.

Baseando-se nas características de potência luminosa indicadas para realizar a fotobioestimulação e os efeitos fotoquímicos descritos nos itens 3.1.4 e 3.1.5, escolheu-se o componente ADL-66505TL (Figura 15), do fabricante *Laser Components®*.

Figura 15 - Laser ADL-66505TL



Fonte: LASER COMPONENTS. **AlGaInP Visible Laser Diode ADL-66505TL Datasheet**. 2014.

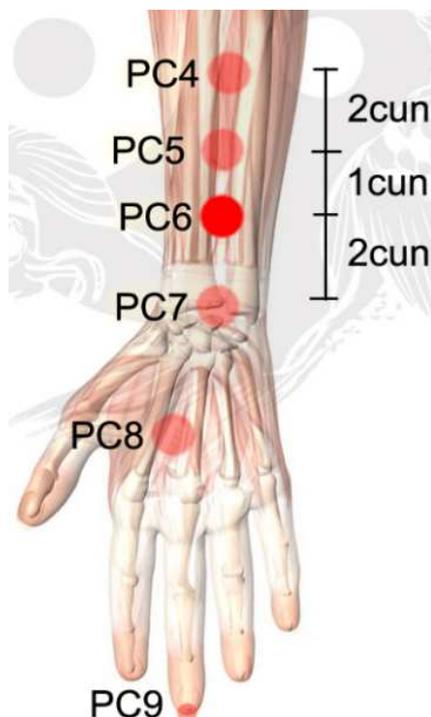
Suas principais qualidades são:

- Encapsulamento compacto, com diâmetro externo de 5,6 mm e comprimento total 10 mm (considerando os terminais). As dimensões podem ser vistas no *datasheet* no anexo B;
- Comprimento de onda de 660 nm \pm 10 nm;
- Tensão nominal de operação de 2,5 V \pm 0,5 V;
- Ângulo de divergência máximo de 13° no vetor paralelo ao feixe e de 22° no vetor perpendicular;
- A potência luminosa máxima de saída é de 52 mW contínuo emitidas por uma janela de 1,5 mm de diâmetro, o que resulta em uma densidade de potência máxima de até 350 mW/cm², superando as necessidades para os efeitos fotoquímicos e de bioestimulação, e ainda permanecendo distante dos efeitos fototérmicos, que poderiam causar incômodo ou ferimento ao paciente (LASER COMPONENTS, 2014).

Foi colocado um laser semiconductor para atuar sobre o ponto PC6 (*Neiguan*) da acupuntura. Esse ponto encontra-se a 2 *cun* de distância da articulação entre a mão e o antebraço, como mostrado na Figura 15. O *cun* é também conhecido como polegada chinesa e corresponde a largura dos dedos da mão do paciente contados a partir do indicador, sendo 2 *cun* equivalentes a largura dos três dedos médios do paciente juntos (PORTAL EDUCAÇÃO, 2018). O *Neiguan* (Figura 16) será o ponto de referência para o posicionamento do

aparelho no pulso da pessoa, logo, posicionou-se o laser dedicado a esse ponto exatamente no meio da face que estará em contato com a pele da pessoa.

Figura 16 - Posição do ponto PC6 no antebraço.

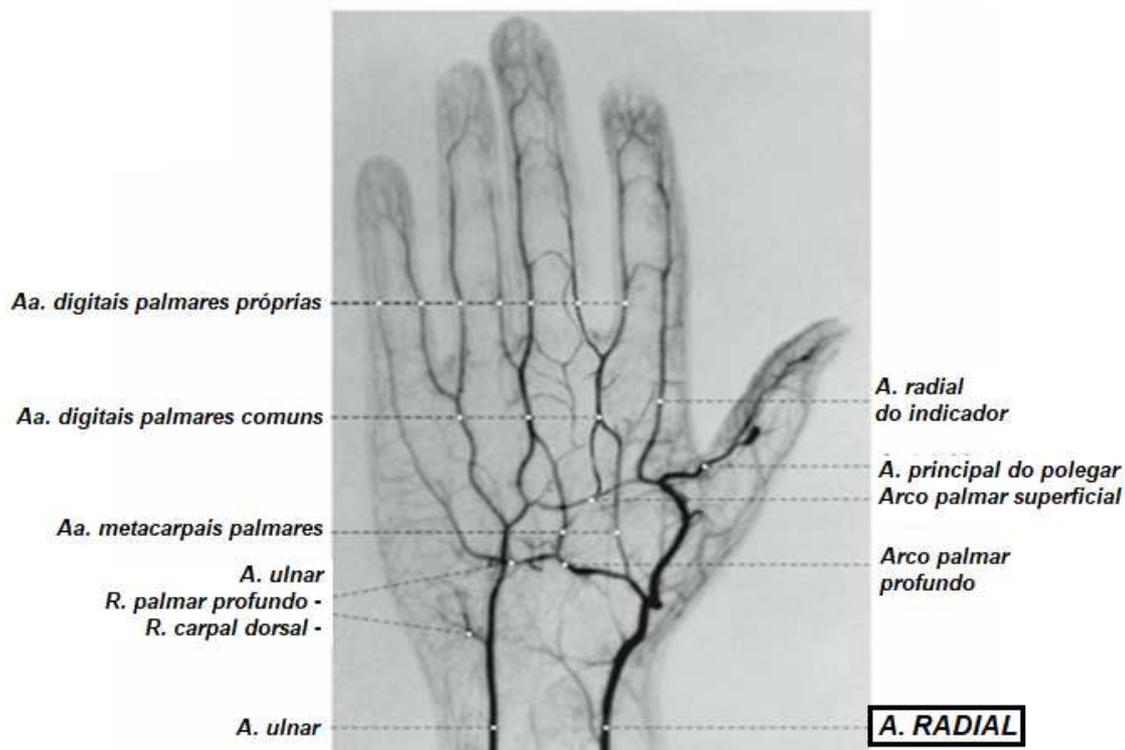


Fonte PORTAL EDUCAÇÃO. **Métodos de Localização e Medida em Cun.** Site: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/medicina-alternativa/metodos-de-localizacao-e-medida-em-cun/17839>. Acesso em 29 de outubro de 2018.

Optou-se por utilizar 4 (quatro) emissores lasers para atuarem sobre a artéria radial (Figura 17), o que permite irradiar até $1,4 \text{ W/cm}^2$ de densidade de potência luminosa nessa região. Seguindo a mesma ideia vista nos modelos importados apresentados na Figura 13, esses emissores são posicionados em linha sobre a artéria radial. Esta escolha aumenta a área de atuação dos lasers, acelerando o processo de transferência de energia às células presentes no sangue, que ao circularem pela artéria radial, passarão um tempo maior recebendo a radiação do laser do que passariam se fosse utilizado um único ponto de emissão. A artéria radial acompanha o osso rádio até o punho estando

tão próxima a superfície que é possível tateá-la (MARTINI; TIMMONS; TALLITSCH, 2009). Ela possui uma leve inclinação em direção ao polegar a partir do ponto PC6, como é possível se observar na Figura 16, essas referências servem para traçar a posição dos lasers que irão irradiar sobre a artéria.

Figura 17 - Arteriograma da mão direita, vista palmar.



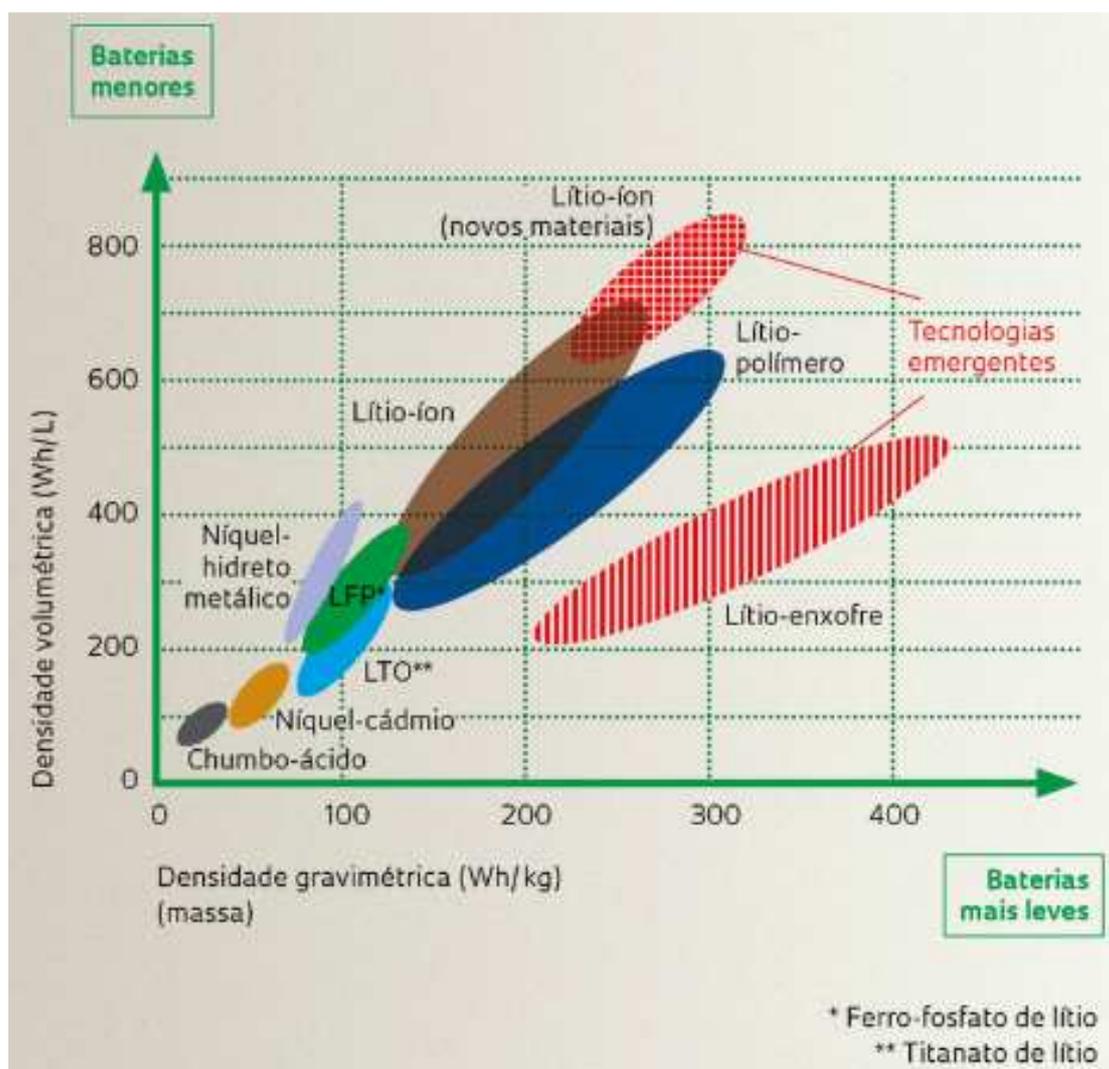
Fonte: HEIDEGGER, W. **Atlas de Anatomia Humana – Volume 1: Anatomia Geral, Paredes do Tronco, Membros Superior e Inferior**. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

4.3.4 Bateria de Li-Íon e Carregador

As baterias de lítio são as baterias com maior densidade de energia, tanto em razões volumétricas quanto gravimétricas, como verifica-se no Gráfico 4. Seu custo também tem se tornado cada dia mais acessível pelos investimentos massivos da indústria (VASCONCELOS, 2017).

Foi preciso calcular a capacidade energética da bateria para determinar suas dimensões. Baseando-se no consumo dos lasers escolhidos descrito em seu *datasheet* (corrente nominal de 90 mA por dispositivo) que representa os principais consumidores de energia, estimou-se um consumo de aproximadamente 450 mA.

Gráfico 4 - Densidade volumétrica (Wh/l) versus densidade gravimétrica (Wh/kg) das baterias



Fonte: VASCONCELOS, Y. **Mais Energia**. Revista Pesquisa FAPESP. 2017. Site: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/11/24/mais-energia>. Acesso em 29 de outubro de 2018.

Para produzir um dispositivo compacto e leve, optou-se pela utilização de uma bateria de lítio íon dentro do produto pela facilidade de encontrá-la no

mercado nacional. A partir das características de consumo dos diodos lasers e da autonomia pretendida para o produto, chegou-se ao seguinte dimensionamento para a bateria.

$$W = I \cdot T$$

$$W = 0,450.3$$

$$W = 1350mAh$$

Onde:

W – capacidade energética nominal da bateria em mAh;

I – corrente nominal do aparelho em amperes;

T – autonomia em horas;

Figura 18 - Bateria Recarregável de Lítio Íon ICR 103450 3,7 V -1700 mAh.



Fonte: STREMA BATERIAS. **Li-Ion ICR 103450 (3,7 V – 1700 mAh)**. Site: <https://stremabaterias.com.br/produto/estoque/151/66/li-ion-icr-103450-37v-1700mah/>. Acesso em 24 de dezembro de 2018.

O modelo *Li-Íon 103450 (3,7 V-1700 mAh)* do fabricante *Ex-Power®* (Figura 17), é uma bateria tipo Lítio Íon com 1700 mAh de capacidade de armazenamento nominal e tensão nominal de 3,7 V, com limite de carregamento

de 4,2 V. Ela atende aos critérios da Resolução do Conama n.º 401, de 04 de novembro de 2008 – Artigo 1.º Único (CONAMA, 2008), que trata dos “limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio e os critérios e padrões para o gerenciamento ambientalmente adequado de pilhas e baterias portáteis”. Suas dimensões são de 10 mm x 34 mm x 50 mm (Altura x Largura x Comprimento) e seu peso de 42 gramas. (STREMA BATERIAS, 2018).

Para o carregamento da bateria, optou-se por disponibilizar um conector padrão micro USB B, pois permite que o usuário consiga carregá-la utilizando carregadores de celular que possuam a mesma conexão, ou utilizando um cabo com conexão micro USB B ligado a um computador. Como carregador para acompanhar o equipamento, escolheu-se o modelo de carregador *Inova V8 1.0A CAR-7175* (Figura 19), com 1 A de corrente máxima de fornecimento. Esse modelo foi escolhido pelo seu baixo custo, custando R\$ 4,20 (preço de atacado) no site *MercadoLivre*, na data de elaboração deste trabalho.

Figura 19 – Carregador de energia micro USB Inova V8 1.0 A CAR-7175



Fonte: MERCADO LIVRE. **Kit 10 Carregador Inova V8 1.0a Car-7175 Atacado.**
Site: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1014418674-kit-10-carregador-inova-v8-10a-car-7175-atacado-_JM?quantity=1#reco_item_pos=10&reco_backend=machinalis-seller-items&reco_backend_type=low_level&reco_client

=vip-seller_items-above&reco_id=9089f4c2-01ec-43b2-bec3-ea91dd660bd4.
Acesso em 10 de janeiro de 2019.

4.3.5 Caixa de Plástico

Os materiais plásticos têm sido utilizados cada vez mais na produção de peças e produtos técnicos, em substituição a outras classes de materiais, como metais e madeira. Os polímeros, classe da qual o plástico faz parte, podem ser transformados em peças e produtos por vários processos, como extrusão, injeção sopro etc. Sendo considerados os materiais mais versáteis que existem (SOUZA; ALMEIDA, 2015).

Dentre as vantagens que o plástico oferece em comparação aos demais tipos de materiais, destacam-se a sua disponibilidade no mercado, a facilidade de transformação, a liberdade de *design*, baixa densidade bem como a boa relação de custo-benefício do produto final. (SOUZA, ALMEIDA, 2015).

O ABS (copolímero acrilonitrila-butadieno-estireno) é um termoplástico que possui grande resistência mecânica contra impactos (suporta até 4.300 psi de pressão e possui dureza HR110 em escala *Rockwell*), além de boa estabilidade dimensional e isolamento elétrica, sendo muito indicado para o uso em bens de consumo. Ele pode ser moldado termicamente, por sopro, por pressão, usinado e até estampado, por isso é comumente utilizado na fabricação de telefones, componentes de carros, rádios etc. Pode ser exposto até temperaturas de 80 °C sem sofrer alterações, e seu ponto de fusão é de 105 °C. Mas todas as características apresentadas podem ser aprimoradas com a combinação do ABS com aditivos (DYNALON LABWARE, 2018).

Tomando como base os modelos apresentados no item 4.3, o dimensional da caixa do protótipo deve possuir aproximadamente 65 mm x 60 mm x 25 mm (Largura x Comprimento x Altura). Também se observou a necessidade da curvatura da face da caixa que estará em contato com o punho do paciente, para tornar o equipamento mais ergonômico.

Para determinar um raio aproximado para a face de contato com a pele, observou-se a portaria Inmetro/Dimel n.º 267, de 16 de julho de 2009, que trata de esfigmomanômetros eletrônicos de punho (INMETRO, 2009). A portaria informa que esses aparelhos são utilizados para punhos entre 13,5 cm e 21,5 cm de circunferência. Considerando que um punho com circunferência maior não encaixaria confortavelmente em um raio para um punho menor, deve-se utilizar o maior tamanho como referência para calcular esse raio. Utilizando a fórmula da circunferência do círculo, pode-se ter uma primeira aproximação do raio da curvatura da superfície:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (4)$$

$$21,5 = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$r = 3,4 \text{ cm} = 34 \text{ mm}$$

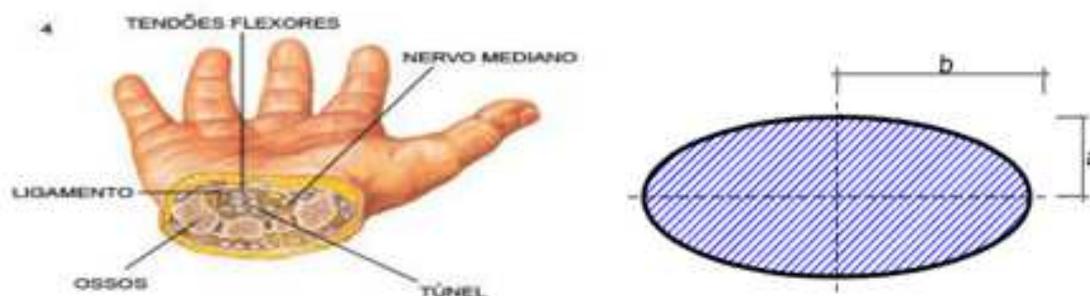
Em que:

C – é a circunferência do punho de maior tamanho, de 21,5 cm.

r – é o valor do menor raio da superfície da caixa plástica que ficará em contato com a pele do paciente.

No entanto, observando-se a secção de um punho na Figura 20, nota-se que se assemelha a uma elipse, em que a área que estará em contato com a pele é a indicada pela dimensão do semieixo maior (b).

Figura 20 - Secção do punho humano a esquerda e elipse a direita.

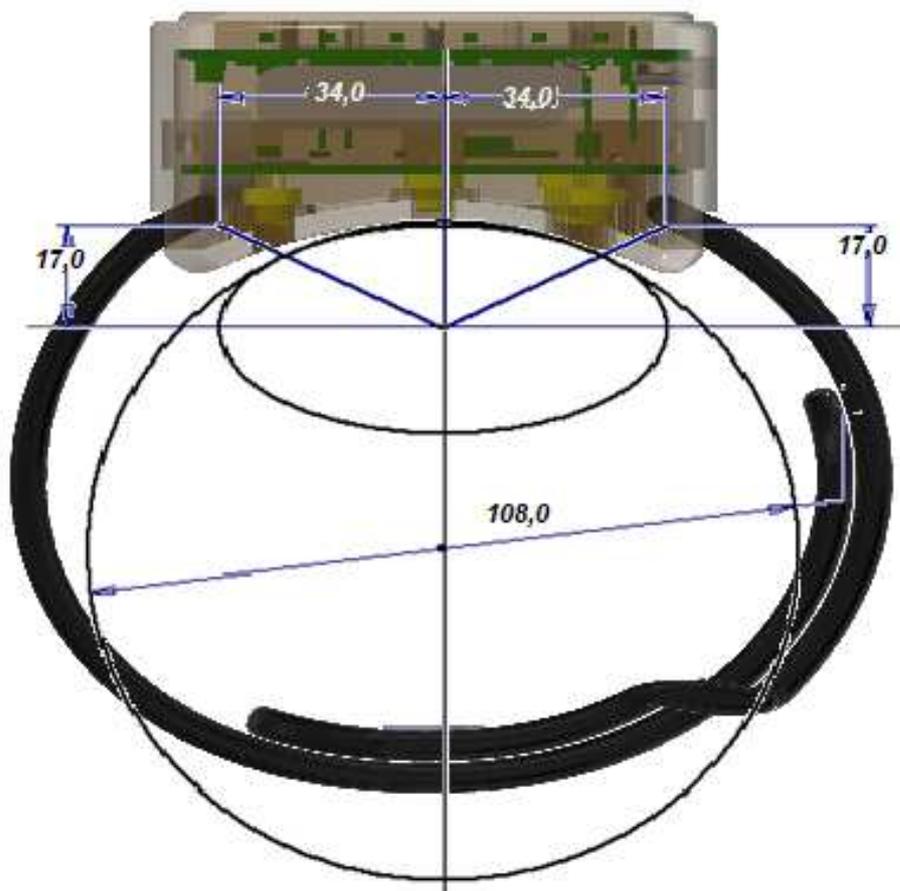


Fontes: BRUNA, M. H. V. **Síndrome do túnel do carpo**. 28 de setembro de 2018. Site: <https://drauziovarella.uol.com.br/entrevistas-2/tunel-do-carpo/>. Acesso em 29 de dezembro de 2018.

ENGIQBRA. **Cálculo da área de uma elipse**. Site: <https://engiobra.com/calculadoras/areas/elipse/>. Acesso em 29 de dezembro de 2018.

Assim, o raio utilizado para esta face da caixa, certamente será maior que 34 mm. Fazendo a aproximação pelas proporções da imagem, pode-se dizer que a dimensão “b” é aproximadamente duas vezes a dimensão “a”. Aplicando-se, então a dimensão “b” como 34 mm (consequentemente a dimensão “a” passou a valer 17 mm), pode-se traçar duas linhas simétricas do centro da elipse até as intersecções das dimensões “a” e “b” no primeiro e segundo quadrantes. A partir desse traçado, gerou-se uma circunferência tangenciando a elipse com raio aproximado a sua superfície compreendida entre as duas linhas. O diâmetro da circunferência produzida é de 108 mm como apresentado na Figura 21. Para auxiliar na realização desse procedimento para a determinação do diâmetro da circunferência, utilizou-se o software *Autodesk Inventor*® 2019 (descrito no item 4.3.6).

Figura 21 - Determinação geométrica do diâmetro da circunferência a partir da elipse.



Fonte: Elaboração própria.

Assim, o raio da face que ficará em contato com a pele do punho do paciente terá aproximadamente 54 mm, como pode ser visto na Figura 21.

4.3.6 Modelagem 3D

A partir dos dispostos discutidos nos itens 4.3.1 a 4.3.5, iniciou-se a modelagem 3D do produto utilizando o *software Autodesk Inventor®* 2019. Esse software permite criar protótipos virtuais tridimensionais, que podem ser trazidos para o mundo real a partir de arquivos eletrônicos e desenhos 2D, que o programa é capaz de gerar a partir do modelo virtual produzido (AUTODESK, 2019). O objetivo da modelagem é desenvolver a estética do produto e sua forma

de montagem, verificando regiões de interferência e conflitos de construção. Também é a partir da modelagem 3D que foram determinadas as dimensões finais do aparelho, formatos das placas eletrônicas que estarão contidas em seu interior e a disposições de seus componentes eletrônicos (descritas no item 4.3.8) e os contornos das etiquetas adesivas e disposições de suas imagens (descritas no item 4.3.7).

Figura 22 - Modelagem 3D do produto.



Fonte: Elaboração própria.

Com a modelagem 3D definida (Figura 22), foram produzidos os arquivos de formato STL para impressão 3D das peças para a montagem da caixa plástica, para o protótipo funcional (Figura 23). As impressões 3D foram realizadas por uma empresa contratada.

Figura 23 - Caixa impressa em 3D



Fonte: Elaboração própria.

Foram gerados, também, os arquivos com formato DXF que serviram para fazer o delineamento das placas eletrônicas e das etiquetas adesivas.

4.3.7 Etiquetas Adesivas

Para oferecer um melhor acabamento externo e apresentar de maneira clara as informações de funcionamento e a marca do produto, optou-se por colocar duas etiquetas adesivas sobre a caixa de plástico do produto: uma sobre a face que estará em contato com a pele e outra que estará na face oposta, a qual apresenta a temporização do tratamento.

A etiqueta que ficará na face de contato com o paciente será produzida em policarbonato. Esse tipo de etiqueta é mais resistente a riscos e desgastes, suportando por mais tempo o atrito do aparelho com a pele. Além de apresentar resistência térmica, importante para suportar o calor produzido principalmente pelos lasers. Também são destacadas a sua clareza óptica (que não diminui a potência luminosa dos lasers) e a estabilidade dimensional (MUNDOFIXX, 2018).

A face oposta aos lasers é a área de maior visibilidade pelas pessoas, assim, o efeito estético é o que mais pesa na escolha do material para a etiqueta dessa região. Nessa circunstância, optou-se pela etiqueta de poliéster resinada, que apresenta qualidades ótimas de impressão e de definição de cores e imagens. Também apresenta boa flexibilidade (MUNDOFIXX, 2018).

Para desenvolver as etiquetas, utilizaram-se as dimensões obtidas durante a modelagem 3D, apresentada no item 4.3.6, e o programa *Adobe Illustrator CC®*. O *Illustrator* é um software para *design* gráfico adequado para a produção de gráficos, *layout*, edição de fotos, projetos de impressão, ilustração etc (ADOBE, 2018).

Figura 24 – Etiqueta posicionada na face que permanece em contato com o paciente durante o tratamento.



Fonte: Elaboração própria.

A etiqueta feita em policarbonato possui informações sobre o produto, as características da bateria e dos lasers, seu número de série e alertas de segurança para o usuário, seguindo as recomendações da norma IEC 60825-1:2001 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, 2001). A etiqueta é apresentada na Figura 24, onde os círculos representam as regiões translúcidas que permitem a passagem da luz laser, sendo os 4 círculos alinhados para emitir sobre a artéria radial e o círculo central para incidir sobre o ponto PC6.

A etiqueta de poliéster resinada possui uma coluna (a direita) formada por seis janelas translúcidas para mostrar a sequência de leds que representam o temporizador do produto. Também há uma pequena janela translúcida ao lado esquerdo do símbolo , é por essa janela que é possível visualizar o led de bateria baixa. Além disso, os símbolos  e  indicam a função das teclas de operação do produto que encontram-se alinhadas a esses ícones, *ON/PLAY* e *TIMER* respectivamente. O logo da marca do produto está posicionado

centralizado em relação à etiqueta e em dimensões maiores que os demais detalhes para valorizar a marca. A etiqueta pode ser vista na Figura 25.

Figura 25 - Etiqueta que fica na face visível do produto durante o tratamento.



Fonte: Elaboração própria.

4.4 Hardware

O software *Autodesk Eagle*® 9 é um programa dedicado a automatizar a elaboração de esquemas eletrônicos e a produção de *layout* de placas de circuito impresso, permitindo gerar placas para os mais diversos segmentos industriais (AUTODESK, 2019). Ele foi utilizado para desenvolver o circuito eletrônico, gerar a lista de componentes eletrônicos, rotear as placas de circuito impresso e por fim produzir os arquivos *gerber*³ necessários para sua fabricação.

³ *Gerber* é a extensão de arquivos mais utilizada na indústria para a confecção de PCIs. Ela contempla as camadas que constituem a placa, além das coordenadas das furações e a lista de brocas necessárias (GOUVEA, 2015).

O circuito é dividido em três partes principais: regulador de tensão e carregamento, controlador e acionamento dos lasers. Os subitens 4.4.1 a 4.4.3 apresentam essas três partes detalhadamente.

O subitem 4.4.4 apresenta as placas de circuito impresso produzidas a partir da definição do esquema elétrico.

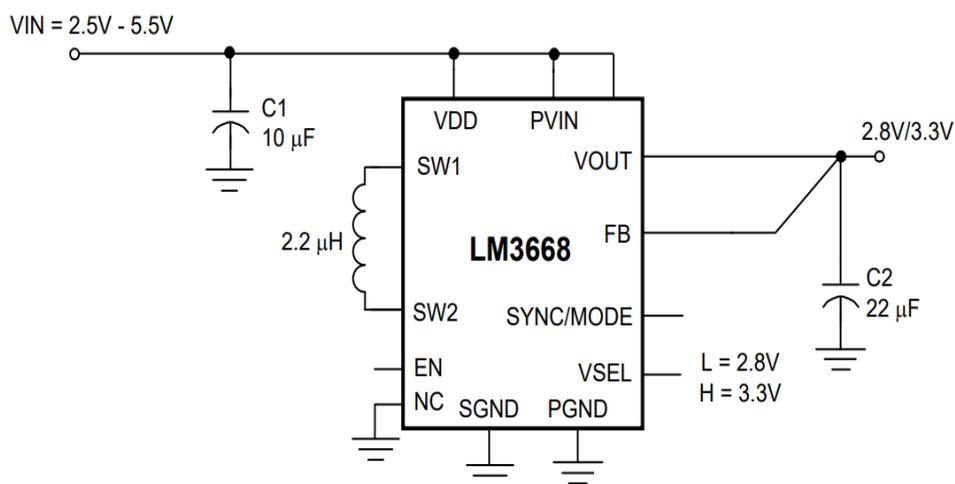
4.4.1 Regulador de Tensão e Carregamento

O CI LM3668SD-2833 é um regulador chaveado tipo *Buck-Boost*, ou seja, abaixador e elevador de tensão, especialmente desenvolvido para converter a tensão fornecida por uma célula de bateria de lítio em uma tensão fixa de 3,3 V com até 1 A de corrente, mesmo que a tensão dessa bateria varie entre 2,5 V a 5,5 V. Suas principais qualidades são eficiência de até 96% e corrente de quiescente (sem carga) inferior a 750 μ A (TEXAS INSTRUMENTS, 2015).

A atuação do regulador é alimentar com tensão estável e corrente suficiente o microcontrolador, os leds de temporização e indicação de bateria baixa e os diodos lasers. Outra característica importante utilizada desse componente é seu modo de *Shutdown*, que garante que o componente não consuma mais de 0,01 μ A quando não acionado seu pino de *Enable*. Essa função é utilizada em conjunto com a tecla de *ON/PLAY* para alimentar os circuitos na inicialização do aparelho e também garantir que o dispositivo não gaste energia da bateria quando desligado.

O circuito típico de ligação do LM3668 é apresentado na Figura 26.

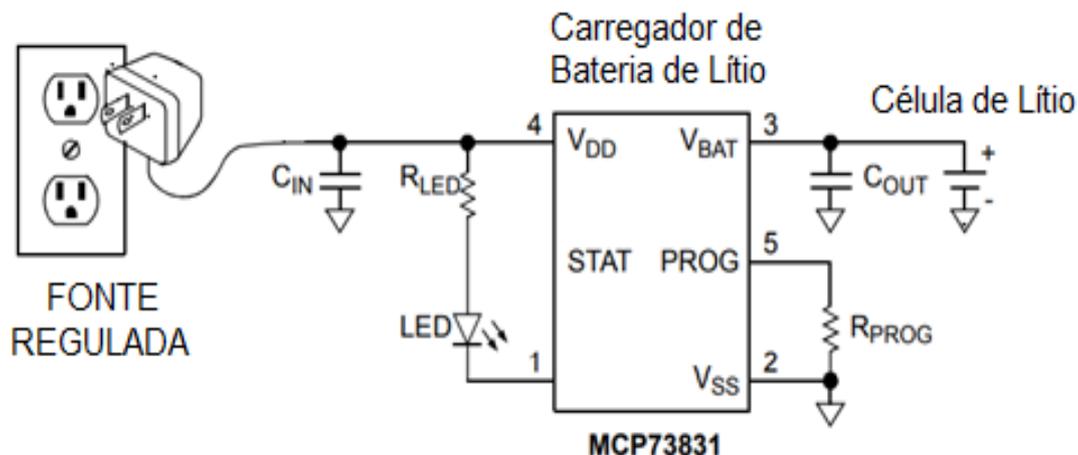
Figura 26 - Circuito típico de regulação de tensão utilizando o LM3668



Fonte: TEXAS INSTRUMENTS. **LM3668 1-A, High-Efficiency Dual-Mode Single-Inductor Buck-Boost DC-DC Converter.** *Datasheet.* Dallas, Texas, EUA. Abril de 2015.

Para o carregamento da bateria, foi utilizado o CI MCP73832T-2ACI, um controlador linear de gerenciamento de carga desenvolvido para carregar baterias de Li-Íon e Li-Po a partir de uma fonte de tensão contínua de 5 V, atendendo convenientemente o barramento de potência de USB de um computador ou um carregador de celular. Esse componente pode oferecer corrente de carregamento de até 500 mA e elevar a tensão da bateria de lítio a 4,2 V (quando completamente carregada). Esse componente também possui um pino de *Status*, que indica quando o término do ciclo de carregamento (MICROCHIP, 2014). O circuito típico de conexão do MCP78831 é apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Circuito típico de carregamento de bateria de lítio usando o MCP73832



Fonte: MICROCHIP. **MCP73831/2 – Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-Ion, Li-Polymer Charge Management Controllers.** *Datasheet.* EUA, 2014.

4.4.2 Controlador

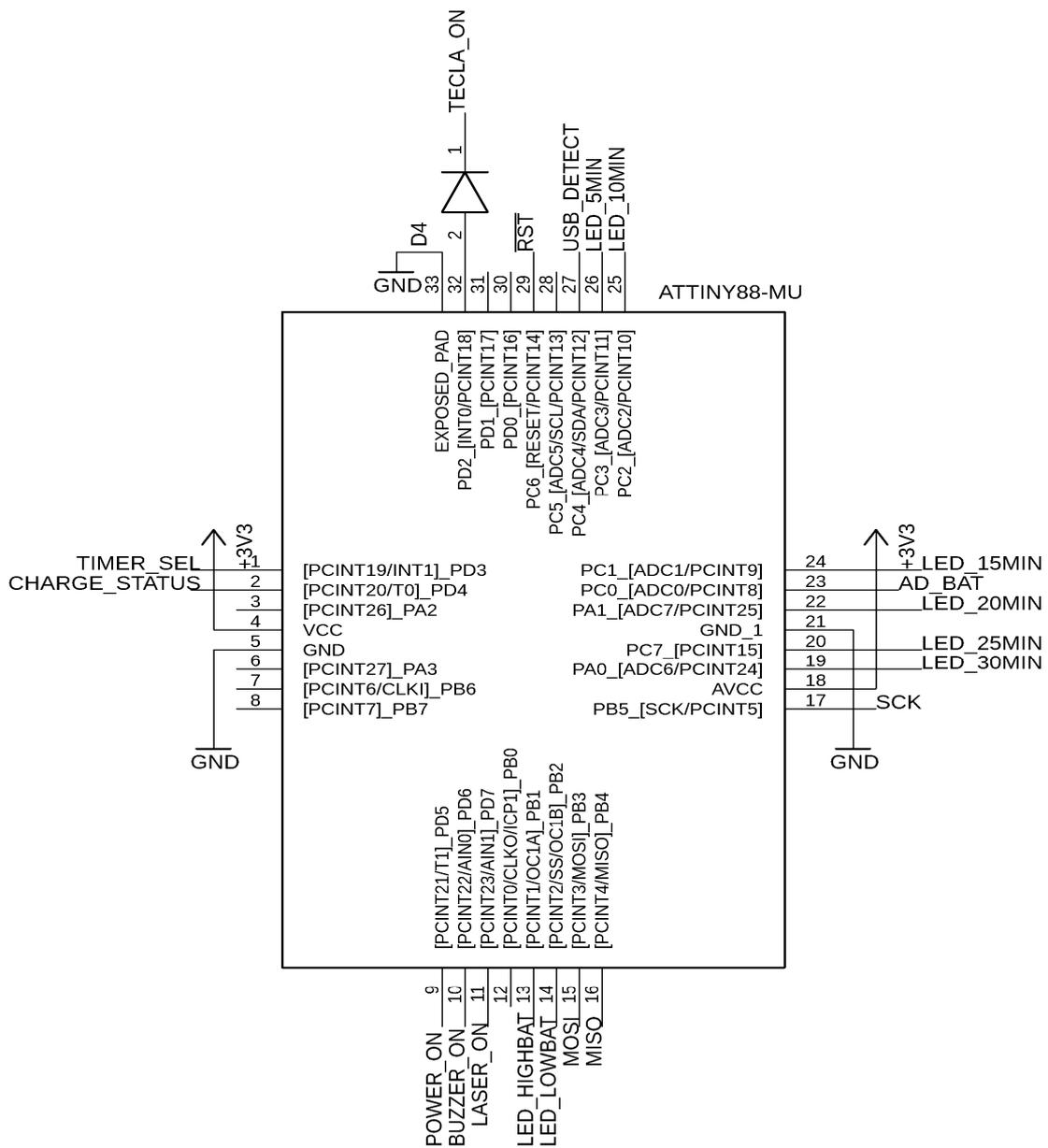
O ATtiny88®, é um microcontrolador de 8 bits de baixa potência desenvolvido pela empresa *Microchip*®. Ele possui 8 kB de memória *flash* programável, 512 bytes de memória SRAM, conversor A/D com 10 bits de resolução, dois temporizadores/contadores sendo um de 16 bits e outro de 8 bits, 24 linhas de entradas ou saídas digitais, interrupções internas e externas, tensão de operação entre 1,8 V e 5,5 V e oscilador interno calibrado (MICROCHIP, 2011), características necessárias para atender às funcionalidades do produto.

A Figura 28 apresenta as principais conexões realizadas entre o microcontrolador e os componentes que realizam suas funcionalidades. Destacam-se as conexões:

- TECLA_ON e TIMER_SEL – São entradas digitais com a função de interrupção externa. São ligadas às duas teclas de controle do aparelho, a *ON/PLAY* e a *TIMER*, respectivamente. Essas duas teclas são modelos *push-button*, ou seja, permanecem em condução somente enquanto pressionadas, quando não pressionadas,

retornam automaticamente a condição de contato aberto. A trepidação mecânica de contato das chaves (*contact bounce*) é tratada na lógica programada no microcontrolador.

Figura 28 – Conexões do microcontrolador ATtiny88



Fonte: Elaboração própria.

- POWER_ON – É uma saída digital ligada ao pino de EN do LM3668 utilizada para manter o funcionamento do regulador após a TECLA_ON deixar de ser pressionada.
- LASER_ON e BUZZER_ON – São duas saídas digitais que ativam o fornecimento de energia para o acionamento dos lasers semicondutores e para o *buzzer*, respectivamente.
- USB_DETECT e CHARGE_STATUS – São duas entradas digitais. A primeira tem a função de identificar quando um carregador de baterias é conectado ao aparelho, para que esse entre em modo de carregamento e impeça que se utilize o aparelho durante o carregamento da bateria por questões de segurança. A segunda, está ligada ao pino STAT do CI MCP73831 e identifica se o processo de carregamento da bateria está em andamento ou se foi concluído.
- AD_BAT e LED_LOWBAT – O pino AD_BAT é uma entrada analógica que mede constantemente o nível de tensão da bateria, quando esse nível ficar abaixo de 3,5 V, o microcontrolador acionará a saída digital LED_LOWBAT, que liga o led indicador de bateria baixa.
- LED_5MIN, LED_10MIN, LED_15MIN, LED_20MIN, LED_25MIN e LED_30MIN – São as saídas digitais que ativam os leds que representam a temporização do aparelho.

Figura 29 – Gravador AVR *USBasp* (esquerda). Conexão de gravação ISP via comunicação SPI (direita).



Fonte: FILIPEFLOP. **Gravador AVR USBasp**. Site: <https://www.filipeflop.com/produto/gravador-avr-usbasp>. Acesso em 16 de março de 2019.

Também foram inseridos pontos de conexão para gravação do *firmware* na memória do microcontrolador utilizando um gravador USB comercial chamado AVR *USBasp* (Figura 29). Este gravador é compatível com o ATtiny88, opera em *Windows*® (32 e 64 bits) e baixo custo, comercializado a R\$31,90 no site *Filipeflop*. Ele permite a programação do microcontrolador no modo ISP (*In-System Program*), que permite que a memória *flash* seja reprogramada por uma interface serial SPI (MICROCHIP, 2011).

4.4.3 Acionamento dos Lasers

Os lasers são as cargas que mais consomem energia em todo o aparelho. Nominalmente, cada laser consome, continuamente, 90 mA de corrente e possui uma queda de tensão de 2,5 V. Para garantir corrente de alimentação constante para cada laser, optou-se por alimentá-los a partir da saída do regulador de tensão LM3668 (3,3 V) e calculou-se o valor do resistor em série com cada laser necessário utilizando a Lei de Ohm.

$$R_{Laser} = \frac{V_{Regulador} - V_{Laser}}{I_{Laser}} \quad (5)$$

$$R_{Laser} = \frac{3,3 - 2,5}{0,09}$$

$$R_{Laser} = 8,89\Omega$$

Em que:

R_{Laser} – é o valor do resistor em série com o laser para limitar a corrente.

$V_{Regulador}$ – é o valor da tensão de saída do regulador de tensão LM3668, igual a 3,3 V.

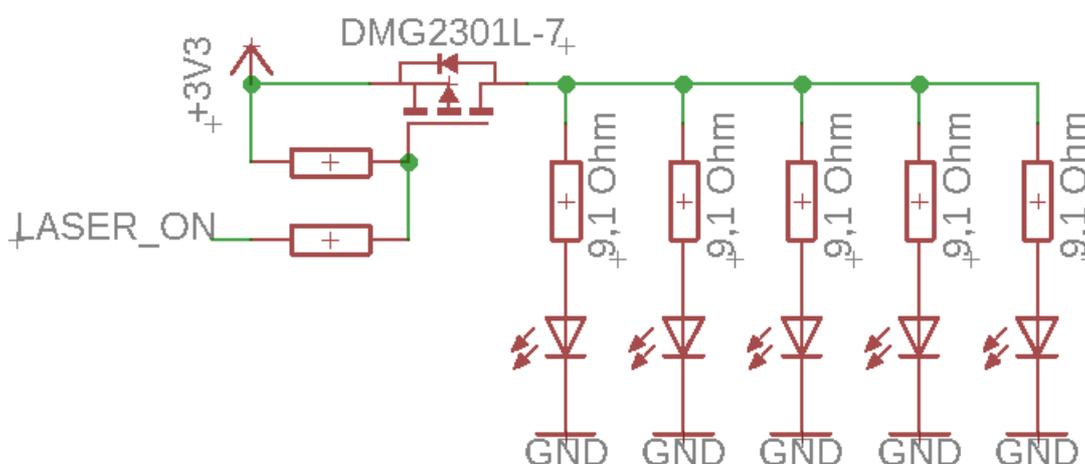
V_{Laser} – é o valor da queda de tensão do laser quando operando em sua corrente nominal, igual a 2,5 V.

I_{Laser} – é o valor da corrente nominal de operação do laser, igual a 90 mA.

O valor de resistor comercial mais próximo acima da resistência calculada é de 9,1 Ω .

Conectando os 5 (cinco) lasers em ramos paralelos, tem-se um consumo máximo de corrente de 450 mA. O microcontrolador utilizado tem a capacidade de fornecer até 40 mA por saída digital (MICROCHIP, 2011), insuficiente para ativar os lasers. Por isso optou-se por utilizar um dispositivo chaveador de corrente com capacidade de conduzir a quantidade de corrente necessária para alimentar nominalmente todos os lasers simultaneamente. Para essa função, optou-se por utilizar o MOSFET Canal P DMG2301L-7. As vantagens desse componente são sua capacidade de corrente de condução de até 3 A, sua tensão de limiar máxima de 1,2 V e resistividade em condução máxima de 120 m Ω (DIODES, 2015), que produzirá uma queda de tensão máxima menor que 60 mV sobre o MOSFET e dissipação de potência inferior a 30 mW para a corrente de 450 mA. O circuito desenvolvido para acionamento dos lasers é mostrado na Figura 30.

Figura 30 – Circuito desenvolvido para acionamento dos lasers.



Fonte: elaboração própria.

4.4.4 Placas de circuito impresso

Após a definição do esquema elétrico foram elaborados os layouts das duas placas de circuito impresso no programa *Autodesk Eagle®* (Figura 31). As duas placas foram dispostas em um painel para que sejam montadas e soldadas simultaneamente durante o processo de colocação dos componentes, economizando tempo.

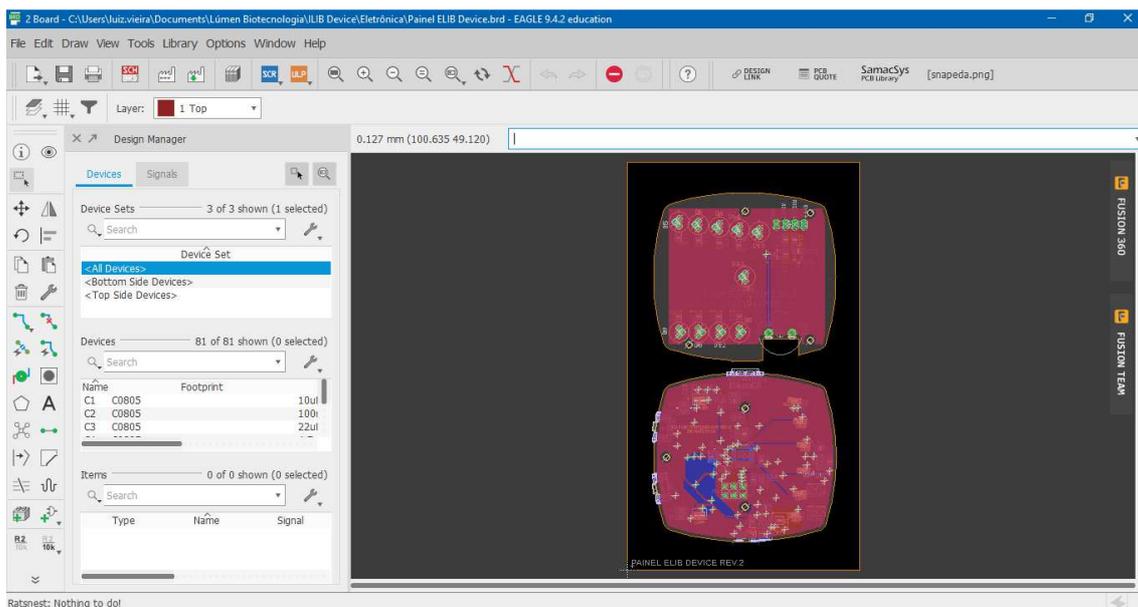
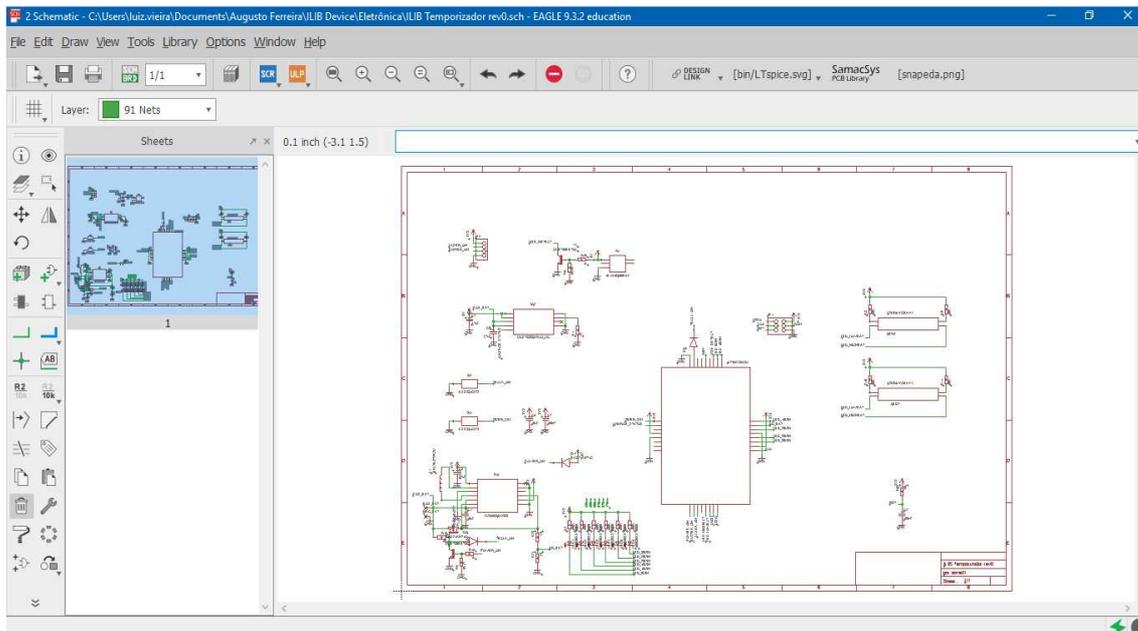
Uma das placas concentra praticamente todos os circuitos lógicos, teclas, leds de temporização, componentes regulação de tensão e carregamento de baterias, está placa foi apelidada como “PCI ELIB Temporizadores” e é fixada na parte superior da caixa (a que fica voltada para o usuário).

A segunda placa comporta basicamente os lasers semicondutores e o *buzzer*, e a esta placa foi dado o nome de “PCI ELIB Emissores”. Tomou-se cuidado em deixar a maior área possível de cobre disposta para servir de dissipador de calor para os lasers semicondutores. Equilibrando a produção de calor dos lasers durante a operação, preservando sua integridade física e sua potência luminosa, como é visto no item 5.1.1. Esta placa é parafusada junto a parte inferior da caixa (a que fica em contato com o pulso do usuário).

Entre as placas, é posicionada a bateria e seus terminais soldados na placa “PCI ELIB Temporizadores”. As placas são interligadas entre si por quatro cabos flexíveis de 0,5 mm de diâmetro, sendo:

- Um para o 3,3 V;
- Um para o negativo da bateria (*ground*);
- Um para o sinal de acionamento do MOSFET que alimenta os lasers (LASER_ON);
- Um para o sinal de acionamento do *buzzer* (BUZZER_ON).

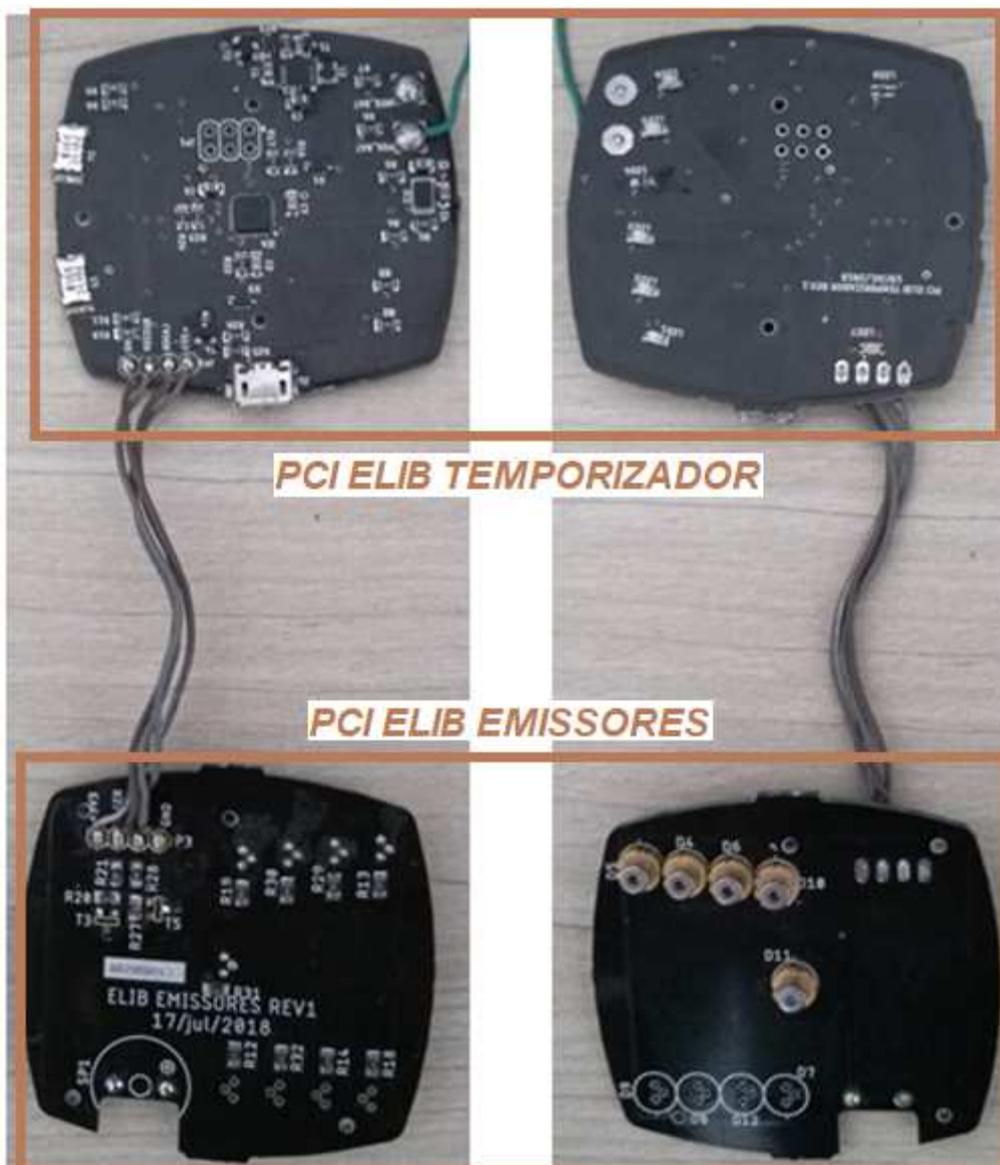
Figura 31 – Elaboração do Layout das placas de circuito impresso no *Autodesk Eagle*®.



Fonte: Elaboração própria.

Com os arquivos *gerber* produzidos a partir do *layout* elaborado pode-se fabricar as placas de circuito impresso em uma empresa terceirizada. Foram soldados os componentes eletrônicos e as placas montadas são apresentadas na Figura 32.

Figura 32 - Placas eletrônicas montadas. Face inferior (à esquerda) e face superior (à direita).



Fonte: Elaboração própria.

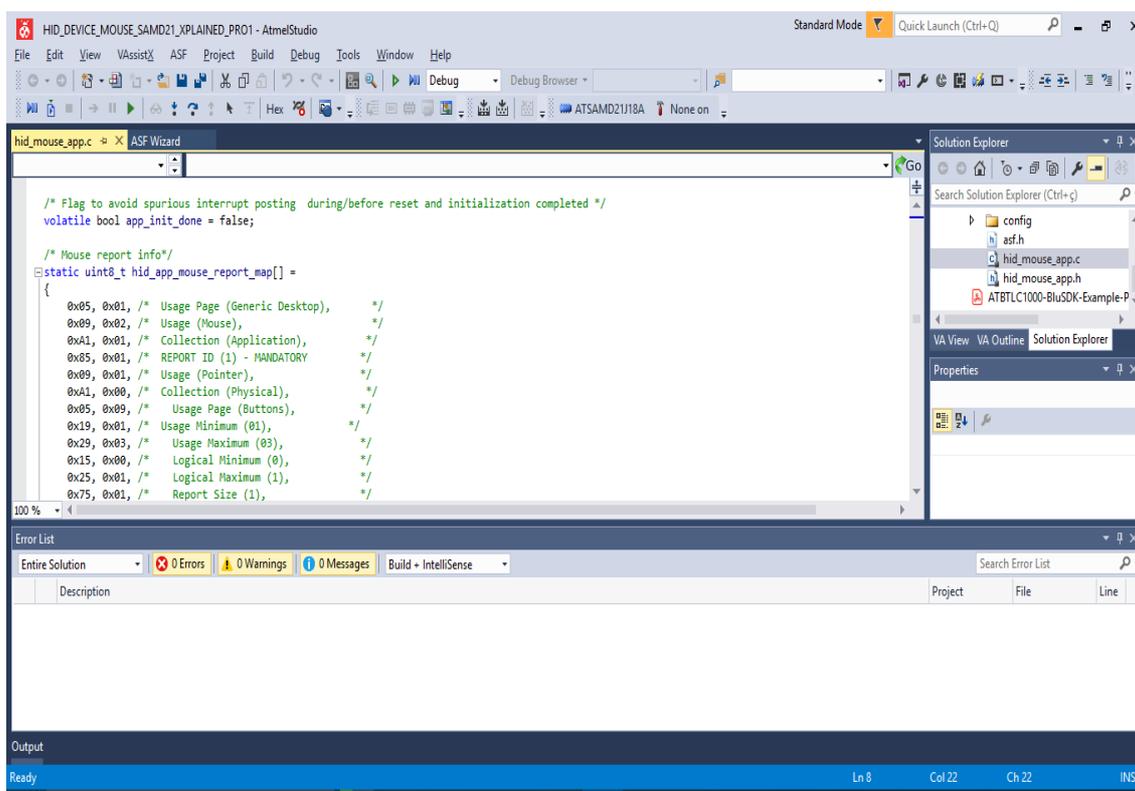
4.5 Firmware

Firmware é um conjunto de regras que rege o funcionamento de um sistema embarcado, como se fosse um software. Pode ser escrito em diversas linguagens de programação seguindo o algoritmo de funcionamento do projeto eletrônico. A linguagem de programação pode ser chamada de baixo nível,

destaque para o *Assembly*, e linguagem de alto nível, como *Pascal* e *C* (OLIVEIRA; ANDRADE, 2010).

O *Atmel Studio*® 7 (Figura 33), pertencente a empresa *Microchip*, é uma plataforma de desenvolvimento de firmware em linguagem de programação *C/C++* e *Assembly* especialmente criada para as linhas de microcontroladores *Atmel AVR*® e *Atmel ARM Cortex*®. Por padrão, seu compilador para linguagem de alto nível para a família AVR é o *AVR GCC*® (MICROCHIP).

Figura 33 – Ambiente de desenvolvimento do *Atmel Studio 7* ®



Fonte: Elaboração própria.

A *firmware*, desenvolvido em linguagem C, foi subdividido em duas partes distintas, descritas nos itens 4.5.1 e 4.5.2: a *Abstração do Hardware* e a *Aplicação*.

4.5.1 Abstração do Hardware

Abstração do hardware representa a camada do *firmware* desenvolvido que considera unicamente os parâmetros e procedimentos de configuração dos periféricos do microcontrolador para que execute a aplicação (descrita no item 4.5.2). Optou-se por gerar essa camada desassociada da aplicação para permitir que em projetos futuros que surjam a partir deste trabalho, possa-se reutilizar a camada aplicação independente se o modelo de microcontrolador for diferente do ATtiny88. Assim, caso haja a mudança do microcontrolador, somente a camada abstração de hardware deve ser retrabalhada, reduzindo tempo de engenharia.

A camada abstração é constituída basicamente por três partes distintas, que configuram os três principais periféricos utilizados:

- Temporizador (*Timer*) de 8 bits – configurado para gerar uma temporização rotineira de 100 ms, utilizado como base de tempo para todas as funcionalidades que demandam temporização, como a cronometragem da seção de laserterapia;
- Entradas/Saídas (I/Os) digitais – foram configurados individualmente cada pino do microcontrolador conectado aos dispositivos eletrônicos que só possuem dois estados lógicos: teclas, leds, *buzzer* e lasers. Os pinos ligados às teclas foram definidos como entradas digitais com capacidade de acionar interrupções a partir da mudança de estado lógico, os demais componentes eletrônicos são acionados por pinos configurados como saídas digitais;
- Conversor A/D de 10 bits – Esse periférico faz a leitura do nível da tensão da bateria por seu pino de entrada e o converte para um valor numérico, entre 0 e 1023 diretamente proporcional ao valor da tensão lida no pino, que pode ser utilizado pela lógica programada na camada aplicação.

As configurações do hardware executadas pela camada abstração do hardware são realizadas antes da execução da aplicação. Como é possível observar na Figura 34, essa parte é realizada logo após a energização e o

apagamento da memória, na tarefa denominada como “rotina de inicialização de hardware”. Somente após a realização dessa tarefa é que o aparelho está apto para responder aos comandos programados na camada de aplicação.

4.5.2 Aplicação

A rotina principal de operações do aparelho é denominada de aplicação. Ela inicia a partir a energização do aparelho, que ocorre no instante em que a tecla *ON/PLAY* é pressionada. Nesse primeiro momento, a ação do microcontrolador é apagar toda a memória interna para garantir que nenhum acionamento randômico ocorra durante a inicialização do aparelho. Em seguida, o hardware interno do microcontrolador é configurado conforme descrito no item 4.5.1 para assim tornar-se apto a interagir com as teclas e os demais componentes eletrônicos e entrar no processo de operação do protótipo.

Durante a operação, para que o programa continue, o botão *ON/PLAY* deve continuar pressionado durante 3 segundos ou então o aparelho desliga imediatamente. Isso evita que o aparelho inicialize involuntariamente caso o botão sofra uma pressão momentânea durante seu transporte ou seu manuseio.

Após o tempo de 3 segundos, a tecla *ON/PLAY* pode ser liberada e o programa entra em um ciclo repetitivo de varredura de aproximadamente 100 ms. Durante esse tempo, o microcontrolador verifica o nível de tensão na bateria e se há uma alteração na condição das teclas *ON/PLAY* e *TIMER* individualmente.

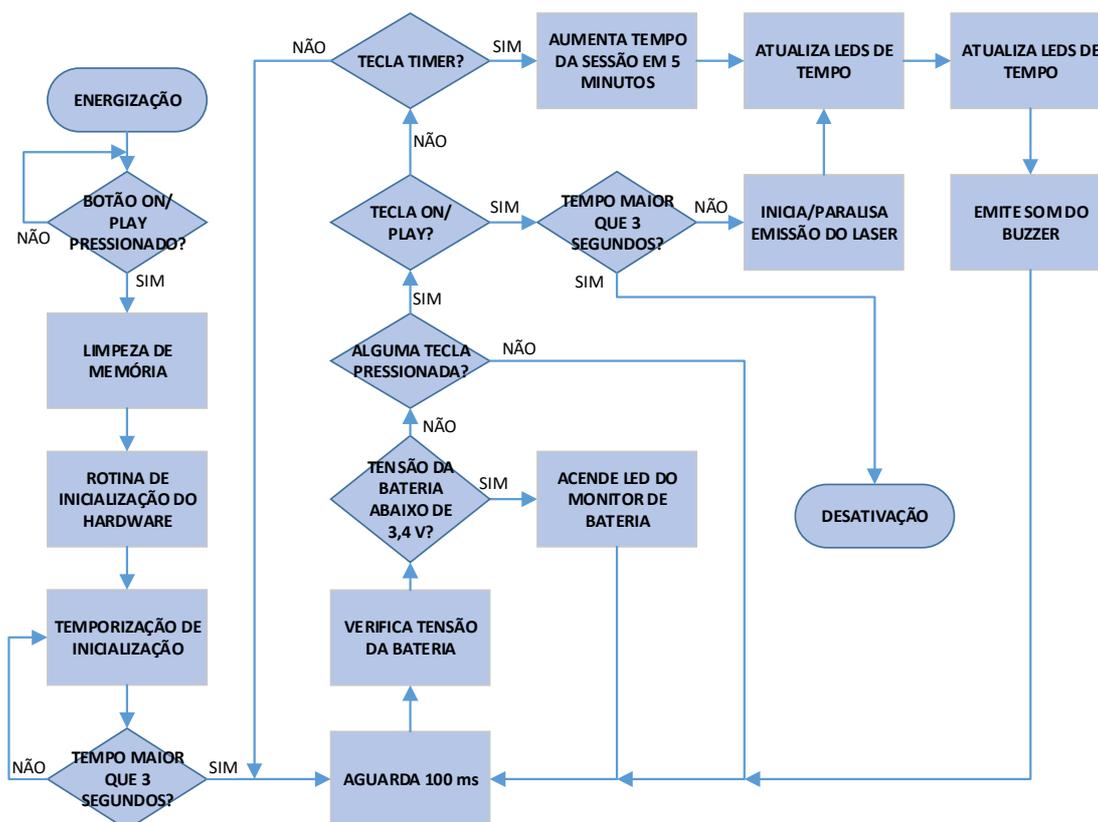
Caso haja mudança na *ON/PLAY*, a ação do aparelho será de iniciar ou interromper a sessão de laserterapia. Caso haja mudança na *TIMER*, a ação será de ampliar o tempo da sessão em 5 minutos caso a sessão de laserterapia não esteja inicializada. Caso nenhuma das teclas seja pressionada, após 100 ms o microcontrolador apenas verifica o nível de tensão da bateria e reinicia a varredura, aguardando uma nova ação nas teclas.

A cada tecla pressionada, é emitido um bip para indicar que a função foi reconhecida.

O microcontrolador verifica se a tensão instantânea está acima ou abaixo de 3,4 V, e caso a tensão esteja abaixo desse valor, o led de sinalização de bateria fraca é aceso.

A Figura 34 apresenta um fluxograma que ilustra de maneira resumida a operação da rotina principal do *firmware*.

Figura 34 - Fluxograma da rotina principal do *firmware*.



Fonte: Elaboração própria.

5 AVALIAÇÃO DO *ELIB DEVICE*

A fim de verificar a capacidade do protótipo em atender às exigências para o tratamento ILIB, descritas no item 4.2, foram realizados testes das características dos lasers, de autonomia da bateria, tempo de carregamento e funcionalidades. Este capítulo apresenta os ensaios realizados e os resultados obtidos.

5.1 Verificação das Características do Diodo Laser

Para validar os emissores laser selecionados, utilizou-se um medidor de potência luminosa específico para lasers, o *PRONTO-SI®*, da empresa *GENTEC-EO*. O aparelho utilizado (Figura 35), de número serial 252489, foi calibrado em 27 de julho de 2018 e seu certificado pode ser visto no anexo A.

O *PRONTO-SI®* é um aparelho capaz de medir até 400 mW de potência para comprimentos de onda de até 980 nm. A área do elemento sensor é de 10 mm x 10 mm (largura x altura), sendo recomendado pelo fabricante, a exposição de um feixe de até 8 mm de diâmetro para melhor medição. Sua faixa de incerteza é de $\pm 4\%$ entre 400 e 980 nm e a resolução é de 1 pW. A faixa de temperatura ambiente de operação recomendada é entre 15 e 28 °C (*GENTEC-EO*, 2015).

Seguindo o manual do aparelho, foi realizada a parametrização para fazer a leitura com laser de 660 nm. Após posicionar o aparelho, é necessário “zerar”, ou seja, corrigir o desvio de zero (*offset*) causado pela luz ambiente e pela temperatura do aparelho. Para realizar esse procedimento, esperou-se cerca de 30 minutos até que a leitura se estabilizasse, conforme o manual recomenda. Após essa etapa, pressionou-se o botão \emptyset para que a leitura se iniciasse o mais próximo de zero watt possível. Na realidade, ela ficou em torno de 1,5 μ W.

Figura 35 - Aparelho medidor de potência luminosa de laser GENTEC-EO PRONTO-SI®.



Fonte: Elaboração própria.

Também foi utilizado no ensaio, o multímetro digital *HM-2030* (Figura 36), da empresa *Hikari*. O multímetro foi utilizado para mensurar as variáveis elétricas de corrente e tensão sobre o diodo laser para estipular a potência elétrica utilizada. Ele também foi utilizado para medir a temperatura ambiente e do laser quando em operação durante a medição.

Figura 36 - Multímetro Hikari HM-2030. À direita com a ponta medidora de temperatura, à esquerda com as pontas para medição de grandezas elétricas.



Fonte: Elaboração própria.

O multímetro é capaz de medir tensões em corrente contínua de até 1000 V com resolução mínima de 100 μ V e precisão de $\pm 0,5\%$, correntes de até 20 A, com menor resolução de 0,1 μ A e precisão de $\pm 1,2\%$. Para temperatura, sua faixa de trabalho varia de -20 °C até 1000 °C, com resolução de 1 °C e precisão de $\pm 1,0\% + 5\text{ °C}$ para temperaturas inferiores a 400 °C (HIKARI, 2017).

Foi utilizada uma fonte de alimentação regulável modelo PS-3005 (Figura 37) da fabricante *Icel*® para fornecer energia para o diodo laser de maneira controlada. Essa fonte tem capacidade de fornecer tensões de saída de até 32 V e até 5 A de corrente com *ripple* de tensão inferior a 0,2 mV. Pelo *display* é possível acompanhar a tensão (com resolução de 0,1 V) e a corrente fornecidas (com resolução de 0,01 A) para facilitar a operação (ICEL MANAUS, 2011).

Figura 37 – Fonte de alimentação regulável Icel PS-3005.



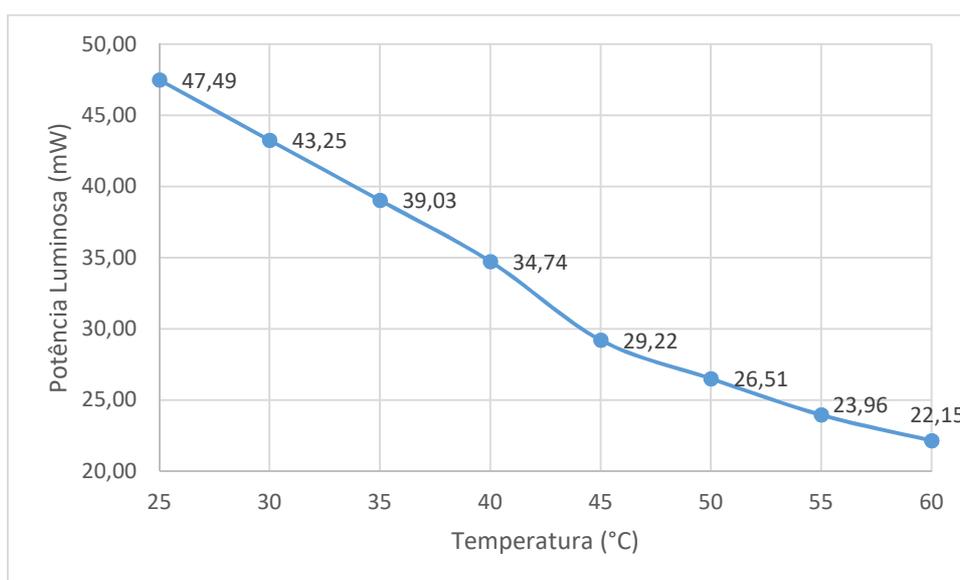
Fonte: ICEL MANAUS. **Manual de instruções da fonte digital modelo PS-3005.** Dezembro de 2011.

5.1.1 Verificação da Potência Luminosa pela Temperatura

Para o primeiro teste, verificou-se o comportamento da potência luminosa do laser conforme o aquecimento do dispositivo laser. O propósito desse teste é verificar se há variação da potência luminosa com o aquecimento natural do componente quando energizado e também verificar a temperatura máxima que o componente atinge quando alimentado com a corrente nominal de operação (90 mA) e sem nenhum meio de dissipação do calor produzido.

Foi ajustada a fonte de alimentação para fornecer 90 mA, o multímetro foi ligado para medir a temperatura do componente e o laser foi posicionado sem distanciamento para a região de detecção do medidor de potência laser. As leituras das potências foram feitas em intervalos de 5 °C de aquecimento do laser após o início do teste. A primeira medição foi realizada no instante de energização do diodo laser. Neste momento a temperatura do componente era de 25 °C. A temperatura máxima que o componente alcançou foi de 61 °C, e o componente levou 6 segundos para alcançar essa temperatura. Os resultados coletados são apresentados no Gráfico 5.

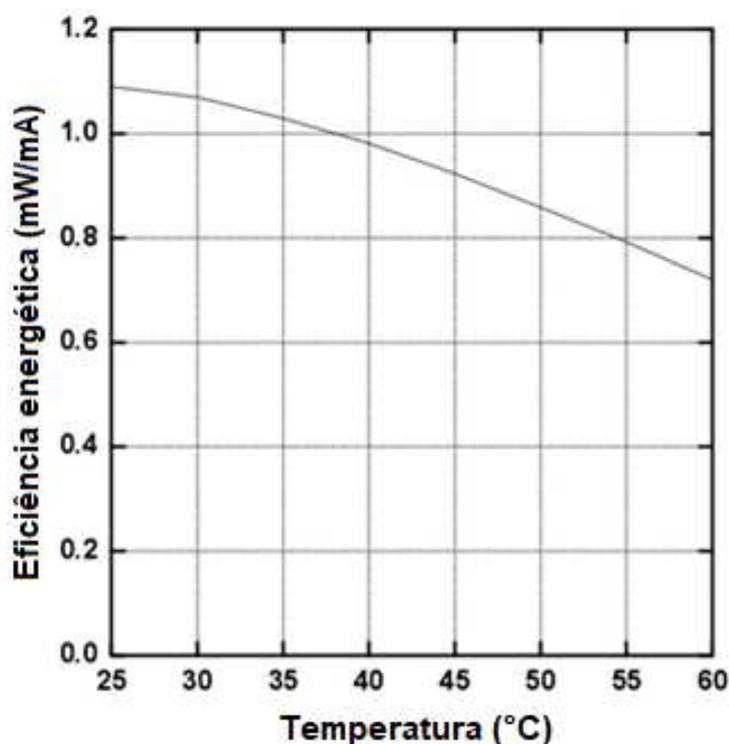
Gráfico 5 - Potência Luminosa (em mW) versus Temperatura (em °C) - Corrente de operação de 90 mA, e sem distanciamento entre laser e sensor.



Fonte: Elaboração própria.

O resultado obtido é condizente com o gráfico que relaciona a eficiência energética do componente e sua temperatura, apresentado em seu *datasheet* (Gráfico 6). Nota-se que a potência luminosa cai significativamente com o aquecimento do componente, assim fica evidente a necessidade de um meio de dissipação de calor dos lasers durante a operação para que possam fornecer continuamente a potência nominal. Também é importante salientar que o controle da temperatura dos lasers é necessário para evitar que o aquecimento durante a utilização do produto possa causar desconforto ao paciente e até danificar outras peças do produto.

Gráfico 6 – Eficiência energética (mW/mA) versus Temperatura (°C) do laser semicondutor ADL-66505TL.



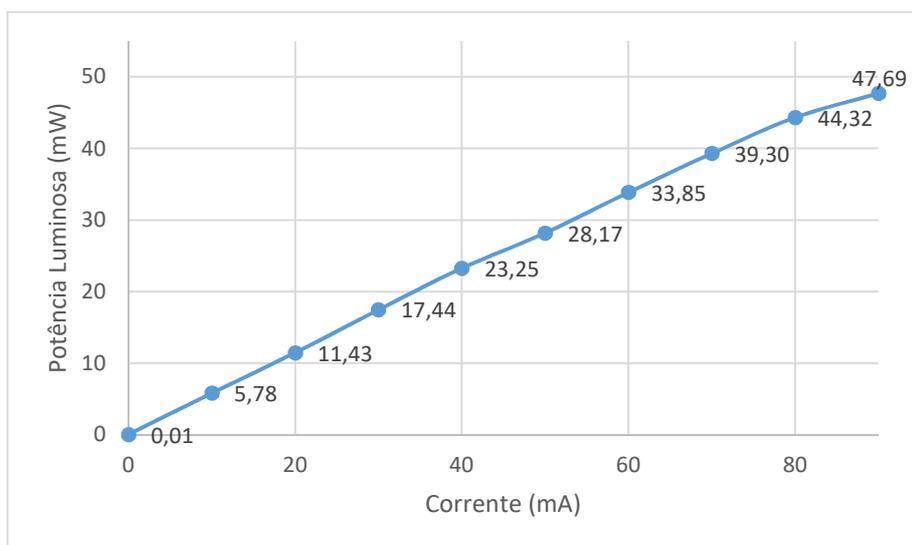
Fonte: LASER COMPONENTS. **AlGaInP Visible Laser Diode ADL-66505TL Datasheet**. 2014.

5.1.2 Verificação da Potência Luminosa pela Corrente Elétrica

No segundo teste realizado, verificou-se a relação entre a corrente de alimentação do laser e a potência luminosa fornecida. Esse teste tem por finalidade determinar um coeficiente entre as duas variáveis analisadas e dimensionar a corrente elétrica necessária para que o produto possa fornecer a potência luminosa necessária, sem extrapolação, e com diminuição no consumo de corrente da bateria. Também se mediu o comportamento da tensão de polarização do componente, pois é necessária a tensão para dimensionar o circuito limitador de corrente para os diodos lasers do produto.

O laser foi soldado sobre uma placa com área de cobre extensa para que possa dissipar o calor produzido durante a operação e manter a temperatura do componente em torno de 25 °C. Posicionou-se o diodo laser sem distanciamento para o sensor do medidor. A fonte de alimentação é utilizada para aplicar gradativamente energia no componente. O multímetro foi colocado em série entre a saída positiva da fonte e o terminal positivo do componente, e ligado na função miliamperímetro, para medir com uma resolução de 0,1 mA a corrente aplicada (pois o *display* da fonte possui uma resolução de 10 mA).

Gráfico 7 - Potência Luminosa (em mW) versus Corrente (em mA) - Temperatura de 25 °C e sem distanciamento entre laser e sensor.



Fonte: Elaboração própria.

O procedimento iniciou-se com a tensão da fonte em 0 V, e gradativamente foi-se aumentando a tensão sobre o diodo laser, a cada incremento de 10 mA de corrente no circuito, anotaram-se os valores da potência luminosa até a corrente nominal do componente, de 90 mA, assim produzindo o Gráfico 7 para análise do comportamento. Anotaram-se, também, os valores de tensão fornecida pela fonte, observando o *display* da fonte regulável, para cada medição realizada, gerando assim o gráfico de polarização do componente (Gráfico 8).

Nota-se que a relação entre a corrente e a potência luminosa é praticamente linear, podendo até ser encontrada uma constante que relaciona as duas grandezas pela fórmula do coeficiente angular de uma função de primeiro grau.

$$m = \frac{\Delta P}{\Delta I} = \frac{P_1 - P_0}{I_1 - I_0} \quad (6)$$

$$m = \frac{5,78 - 0,01}{10 - 0}$$

$$m = 0,578 \text{ mW/mA}$$

Em que:

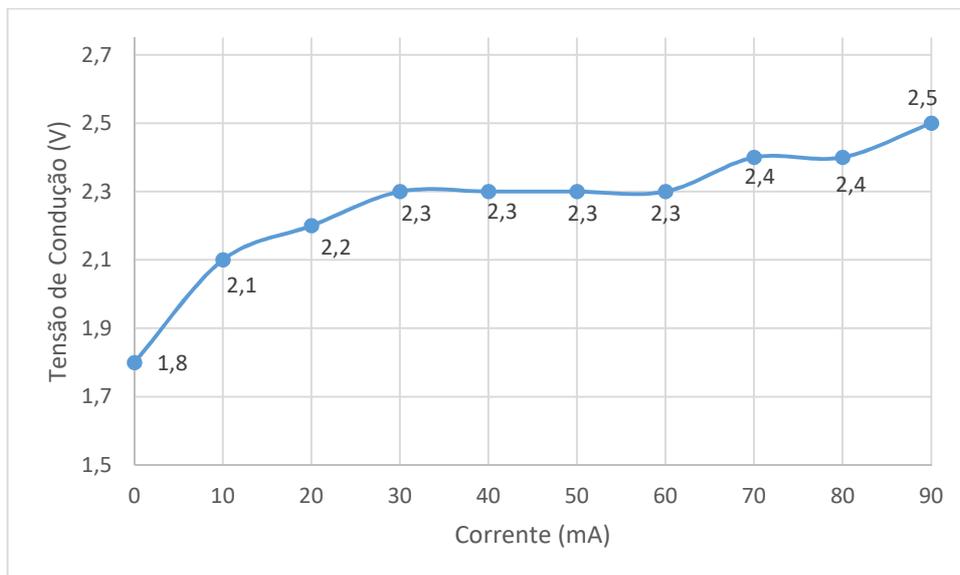
m é o coeficiente angular que relaciona a quantidade de potência luminosa produzida para cada miliampère de corrente elétrica aplicada no laser (em mW/ma).

ΔP – Variação de potência entre dois pontos do gráfico 7 (em mW), nesse caso, entre a potência luminosa com corrente de 0 mA (P_0) e a potência luminosa com corrente de 10 mA (P_1).

ΔI – Variação da corrente entre dois pontos do gráfico 7, nesse caso, entre a corrente de 0 mA (I_0) e a corrente de 10 mA (I_1).

O conhecimento desse coeficiente facilita o dimensionamento da energia necessária para fornecer a potência luminosa ideal para o tratamento.

Gráfico 8 - Tensão de condução (em V) versus Corrente (em mA) - Temperatura de 25 °C e sem distanciamento entre laser e sensor.



Fonte: Elaboração própria.

A avaliação do gráfico 8 mostra que a tensão mínima necessária para início de condução de corrente pelo diodo laser é cerca de 1,8 V. O comportamento da tensão não se mostra linear, no entanto, a variação de tensão entre o início de condução até atingir sua condição nominal é de 0,7 V apenas. A queda de tensão sobre o componente em sua condição nominal é de 2,5 V. A partir desse valor é possível obter a potência elétrica consumida pelo componente em operação nominal.

$$P_{in} = V \cdot I \quad (7)$$

$$P_{in} = 2,5 \cdot 90 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{in} = 225 \text{ mW}$$

Em que:

P_{in} é a potência elétrica consumida pelo componente (em W).

V é a tensão sobre o componente (em V).

I é a corrente passante pelo componente (em A).

Com esse resultado, é possível determinar o rendimento do componente para a condição nominal.

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (8)$$

$$\eta = \frac{47,69}{225} \cdot 100\%$$

$$\eta = 21,19\%$$

Em que:

η é o rendimento percentual do laser na condição nominal.

P_o é a potência luminosa na condição nominal (em mW).

P_{in} é a potência elétrica na condição nominal (em mW).

No item 2.3 é informado que o laser semiconductor possui um rendimento entre 30% e 50%, ou seja, este componente, especificamente, apresenta um rendimento abaixo do esperado para sua categoria. Consequentemente, uma quantidade maior de energia é perdida em forma de calor.

5.1.3 Verificação da Potência Luminosa pelo Tempo

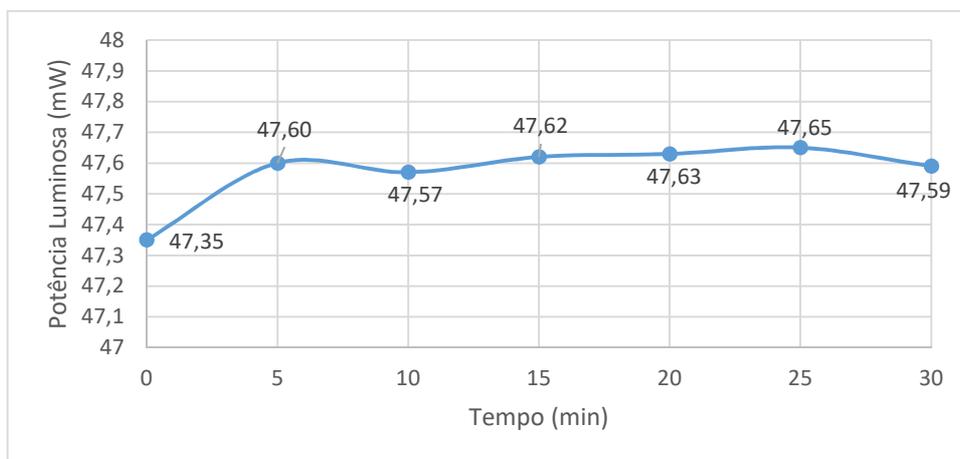
O terceiro teste consistiu em verificar se há variações significativas da potência luminosa do diodo laser com o passar do tempo. Para esse procedimento, ajustou-se a fonte de alimentação para fornecer a corrente nominal de 90 mA, o calor gerado pelo componente foi dissipado, para que a temperatura não subisse acima de 25 °C durante o período de testes e o emissor estava encostado ao detector do medidor de potência laser.

A partir do momento que a fonte foi ligada, a potência luminosa foi medida de 5 em 5 minutos, até um período total de 30 minutos, que equivale ao período

máximo que uma sessão com o ELIB pode durar. Os dados coletados foram utilizados para gerar o Gráfico 9.

Pelo gráfico, observa-se que a potência luminosa apresentou variação muito baixa de potência, sendo a maior diferença observada entre o instante 0 min e o instante 25 min de 0,3 mW. Isso representa uma variação de apenas 0,63 % se comparada com o valor da potência luminosa no instante 0 min (de valor mais baixo). Isso permite afirmar que, ao longo de toda sessão da terapia, o laser irradia uma luz de potência uniforme, garantindo que todas as células sanguíneas serão bombardeadas com a mesma quantidade de energia assim que entrarem na área iluminada pelo produto, possibilitando que todas essas células possam realizar suas reações fotoquímicas com a mesma intensidade.

Gráfico 9 - Potência Luminosa (em mW) versus Tempo (em minutos) – Corrente de operação de 90 mA, temperatura de 25 °C e sem distanciamento entre laser e sensor.



Fonte: Elaboração própria.

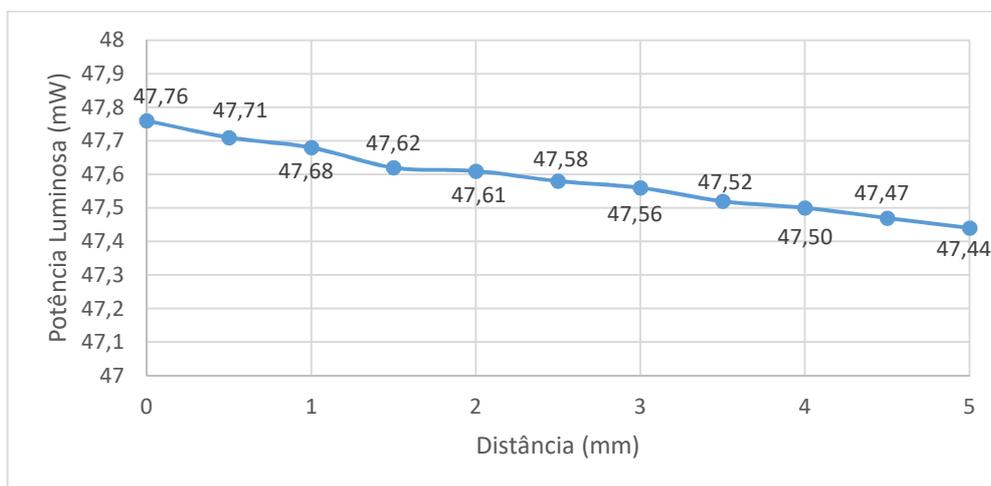
5.1.4 Verificação da Potência Luminosa pela Distância

O quarto teste verificou se há variações de potência luminosa do laser dependendo da distância existente entre o emissor e o corpo iluminado. Para a realização do teste, ajustou-se a fonte para fornecer a corrente de valor nominal (90 mA), o componente estava ligado ao dissipador de calor para manter sua

temperatura em cerca de 25 °C, e a distância entre a face emissora do diodo laser e a área de detecção do medidor foi sendo aumentada de 0,5 mm em 0,5 mm para cada leitura de potência, a partir do 0 mm (sem distanciamento) até 5 mm de espaçamento. Para garantir as distâncias, foi utilizado o paquímetro digital. O teste foi limitado a 5 mm de distância, pois o produto tem como pré-requisito ser compacto, e espaços maiores que 5 mm acarretariam em um produto final com dimensões que infringiriam esse pré-requisito.

Os dados coletados são apresentados no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Potência Luminosa (em mW) versus Distância (em mm) entre laser e sensor – Corrente de operação de 90 mA e temperatura de 25 °C.



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se notar que há um decaimento gradativo de potência luminosa, conforme o componente se afasta do instrumento medidor, no entanto, a diferença entre a potência medida na posição 0 mm para a distância 5 mm é de apenas 0,32 mW, ou seja, 0,67% se comparada com o valor da potência na posição 0 mm. Isso se deve ao fato do feixe luminoso do laser não extrapolar a área de detecção do medidor de potência luminosa para a distância máxima de 5 mm. Assim, poucos fótons se dispersam antes de chegarem ao sensor. Esse conhecimento é importante, pois, para o produto, uma distância de alguns poucos milímetros é necessária entre o diodo laser e a pele do paciente, para

que o aquecimento do componente durante o uso não incomode ou cause até mesmo queimaduras na pele. Assim, sabendo que é irrisória a diferença de energia fornecida pelos lasers a poucos milímetros de distância do alvo, pode-se afirmar que, a adição desse distanciamento não afetará a eficácia do tratamento.

Na elaboração da caixa do produto foram feitos apoios, sobre os quais acomodam-se os lasers de forma que fique aproximadamente 2,5 mm de distância da superfície da pele do usuário. Assim, não há risco de incômodos ou lesões a pele por conta do possível aquecimento dos diodos lasers durante sua energização.

5.2 Teste de autonomia

Para verificar o tempo máximo de duração da carga de bateria para conhecer a autonomia máxima do produto, utilizou-se o protótipo funcional (Figura 38), o carregador de energia com conector USB e o aplicativo de cronômetro padrão do *smartphone Moto G5*. Também se determinou o tempo de carregamento máximo do equipamento com o carregador de energia escolhido.

Figura 38 - Protótipo funcional utilizado para teste de autonomia.



Fonte: Elaboração própria.

Inicialmente, carregou-se a bateria do dispositivo até que o led indicativo apresentasse carga completada. O aparelho foi ligado e parametrizado para realizar a sessão de tratamento de 30 minutos, pois assim, todos os leds indicativos de tempo iniciam acesos e o intervalo entre o fim de uma sessão e a parametrização para o início da próxima torna-se o mais extenso possível. No instante que o protótipo foi ligado, o cronômetro também foi iniciado para marcar o tempo de funcionamento. Ao final de cada sessão, antes que o aparelho desligue automaticamente por tempo de espera, já se realizava a parametrização novamente para outra sessão de 30 minutos e assim repetia-se o ciclo. Esse procedimento repetiu-se até a carga da bateria tornar-se tão baixa a ponto de o equipamento não conseguir manter-se ativado. Nesse momento foi anotado o tempo de autonomia registrado no cronômetro.

Em seguida, conectou-se o aparelho ao carregador de energia e reiniciou-se a contagem de tempo do cronômetro, assim é possível determinar o tempo de recarga do produto, já que nesse momento, é certo que a bateria está sem carga mínima para ligar o equipamento. Ficou-se, então, observando o produto até o momento em que o led indicador de carga de bateria indica carga completa.

Todos os ciclos de descarga e carga foram repetidos três vezes e anotados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tabela de tempo dos ciclos de carregamento e descarregamento

<i>Ação</i>	<i>1º ciclo</i>	<i>2º ciclo</i>	<i>3º ciclo</i>
<i>Descarregamento</i>	2 h 44 min	2 h 47 min	2 h 46 min
<i>Carregamento</i>	41 min	43 min	43 min

Fonte: Elaboração própria

Pela Tabela 1 verifica-se que a autonomia do aparelho pode chegar a 2 horas e 47 minutos, o que permite a realização de até 5 sessões de 30 minutos. O tempo de recarga mais rápida é de 41 minutos, inferior ao de autonomia, o que permite a alternância de utilização caso o usuário possua dois aparelhos.

6 CONCLUSÃO

Durante a realização deste trabalho, pode-se:

- Entender e apresentar as naturezas físicas da luz e do laser;
- Destacar os tipos de lasers, suas principais aplicações, parâmetros de seleção e de segurança;
- Compreender a interação do laser com os tecidos biológicos que depende principalmente do seu comprimento de onda, densidade de potência irradiada e tempo de exposição;
- Descrever a técnica ILIB e seus efeitos químicos nos tecidos biológicos;
- Avaliar equipamentos similares de mercado, apontando seus pontos positivos e negativos;
- Listar as características necessárias para desenvolver o protótipo do aparelho portátil para ILIB.

A partir dessas tarefas pode-se projetar e construir um protótipo funcional do dispositivo, o qual foi submetido a testes que demonstraram a competência do aparelho. Defrontando o protótipo obtido com as premissas listadas no item 4.2, observa-se que:

- O aparelho produzido é energizado pela sua bateria, trabalhando desconectado de qualquer cabeamento, permitindo a liberdade de movimentos pelo usuário;
- O aparelho tem a capacidade de temporizar as sessões de laserterapia de 5 a 30 minutos, apresentando este período por 6 leds dispostos sobre a face visível do aparelho;
- A bateria não tem autonomia suficiente para atender 3 horas de utilização contínuas. No entanto, ainda assim sua autonomia é de aproximadamente 2h45, permitindo que o aparelho possa realizar 5 sessões de 30 minutos sem descarregar totalmente;
- O formato do dispositivo é anatômico, seguindo a curvatura do punho do usuário e utilizando uma pulseira com ampla possibilidade de ajustes;

- Sua massa total é de aproximadamente 142 g e suas dimensões máximas, desconsiderando a pulseira, são 60 mm x 55 mm x 25 mm (comprimento x largura x altura). Sendo, assim, mais leve e menor que os concorrentes listados no item 4.1;
- O diodo laser utilizado, ADL-66505TL, emite uma luz vermelha, com comprimento de onda de 660 nm \pm 10 nm, condizendo com o solicitado pela terapia ILIB Modificada, como descrito no item 3.2;
- Os resultados demonstraram que a potência luminosa oferecida por cada diodo laser é de aproximadamente 47 mW, totalizando cerca de 235 mW de potência luminosa irradiada pelos 5 diodos lasers sobre o punho do paciente. Suficientes para realizar os efeitos de bioestimulação desejados pela técnica ILIB, como apresentado no item 3.1.5 e potência luminosa superior aos modelos de mercado concorrente apresentados no item 4.1;
- Foram dispostos 4 lasers para incidência sobre a artéria radial para a realização do tratamento ILIB Modificada e 1 laser sobre o ponto PC6 para a execução da laseracupuntura nesse ponto simultaneamente. Desta maneira, são oferecidos dois tratamentos ao usuário durante a mesma sessão de terapia;
- A inserção de uma entrada micro USB permitiu a utilização de um carregador de celular comum de mercado, como o apresentado no item 4.3, assim como funcionaria com outros modelos;
- Para operar o *ELIB Device* são utilizados somente dois botões, um para ligar/desligar e outro para selecionar a temporização desejada. Assim, a operação torna-se fácil de ser realizada, mesmo para um usuário inexperiente com o produto.

Assim, pode-se concluir que o equipamento eletrônico portátil desenvolvido é capaz de atender aos requisitos da laserterapia denominada ILIB modificada, recomendado para irradiação de laser sobre a artéria radial e sobre o ponto PC6 da acupuntura, buscando os benefícios apresentados nos itens 3.2 e 3.3 deste trabalho.

7 TRABALHOS FUTUROS

Com a montagem e aprovação do aparelho, o *ELIB Device* será utilizado em testes clínicos e desenvolvimento de protocolos médicos coordenados pelo Dr. Augusto José Santos Ferreira, assegurando a eficácia da fotobioestimulação do aparelho em diferentes patologias.

Em seguida, os próximos trabalhos programados para o aprimoramento do aparelho, ampliação de suas possibilidades na medicina e posterior comercialização são:

- Produção de lote piloto para apresentar o produto a profissionais da área e verificar a sua aceitação;
- Avaliar os dados obtidos pelos trabalhos do médico junto às opiniões recebidas do público que recebeu o lote piloto e aprimorar as funcionalidades do produto;
- Obtenção de certificação pelos órgãos fiscalizadores pertinentes, permitindo a sua comercialização em território nacional;
- Desenvolvimento de linha de produção serializada do aparelho para sua comercialização.

Após essas atividades já programadas e, caso o retorno científico e financeiro justifique a continuidade dos trabalhos, já se planejam novas funcionalidades e até mesmo produtos derivados do conceito desenvolvido com o *ELIB Device* para ampliar seu alcance terapêutico e atratividade ao público potencialmente comprador.

REFERÊNCIAS

ADOBE. **Adobe Illustrator CC**. Site https://www.adobe.com/br/products/illustrator.html?gclid=CjwKCAiA9qHhBRB2EiwA7poaeDtRLIJ-f1JqZ-11VJLBIBWTIc03mzn3aOyYIvGZlhTH1h04svdOyBoCeRAQAvD_BwE&sdid=KQPNX&mv=search&ef_id=CjwKCAiA9qHhBRB2EiwA7poaeDtRLIJ-f1JqZ-11VJLBIBWTIc03mzn3aOyYIvGZlhTH1h04svdOyBoCeRAQAvD_BwE:G:s&s_kwid=AL!3085!3!301784431323!e!!g!!adobe%20illustrator. Acesso em 30 de dezembro de 2018.

ALIEXPRESS. **Laser Therapy Wrist Diode LLLT 650 nm Low Level Frequency Diabetes Hypertension Treatment Watch Laser Sinusitis Therapy Device**. Site: https://www.aliexpress.com/item/Laser-Therapy-Wrist-Diode-LLLT-650nm-Low-Level-Frequency-Diabetes-Hypertension-Treatment-Watch-Laser-Sinusitis-Therapy/32928299791.html?ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10065_10068_318_10547_5727820_319_10548_317_10696_450_10084_10083_10618_452_535_534_533_10307_532_5024920_204_10059_10884_323_10887_100031_320_321_322_5727615_5727715_10103_448_449,searchweb201603_35,ppcSwitch_0&algo_expid=49e82d3c-91e4-4a9e-93b7-45cb6056d067-5&algo_pvid=49e82d3c-91e4-4a9e-93b7-45cb6056d067&transAbTest=ae803_5. Acesso em 22 de outubro de 2018.

ALMEIDA, G. S. G; SOUZA, W. B. **Engenharia dos Polímeros – Tipos de Aditivos, Propriedades e Aplicações**. 1 ed. São Paulo, SP. Érica. 2015.

AMAZON. **Laser Therapy for Pain Medicomat – 17C Laser Healing Light Therapy Electronic Acupuncture Wrist Type**. Site: <https://www.amazon.com/Therapy-Medicomat-17C-Healing-Electronic-Acupuncture/dp/B00I2SSCV6>. Acesso em 22 de outubro de 2018.

AUTODESK. **Autodesk Eagle**. Site: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>. Acesso em 02 de janeiro de 2019.

AUTODESK. **Autodesk Inventor**. Site: <https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview>. Acesso em 02 de janeiro de 2019.

AVIJGAN, M.; HAJZARGARBASHI, S. T.; KAMRAN, A.; AVIJGAN, M. **Post Herpetic Neuralgia: Practical Experiences: Return to Tradicional Chinese Medicine.** Journal of Acupuncture and Meridian Studies. Elsevier. Fevereiro de 2017.

BAGNATO, V. S. **Os Fundamentos da Luz Laser.** Instituto de Física de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP. 2001

BARTELS, K. E. **Laser in Veterinary Medicine – where have we been, and where are we going?.** Departamento de Ciências Clínicas, Universidade Estadual de Oklahoma. WBS. 2002.

BCMED. **Recover Mm Optics – Laserterapia e Terapia Fotodinâmica Bivolt.** Site: <<https://www.bcmed.com.br/recover-mm-optics-laserterapia-e-terapia-fotodinamica-bivolt>>. Acesso em 08 de outubro de 2018.

BRUNA, M. H. V. **Síndrome do túnel do carpo.** 28 de setembro de 2018. Site: <https://drauziovarella.uol.com.br/entrevistas-2/tunel-do-carpo/>. Acesso em 29 de dezembro de 2018.

CATORZE, M. G. **Laser: Fundamentos e Indicações em Dermatologia.** Centro de Dermatologia Médico-Cirúrgica de Lisboa. Ministério da Saúde. Lisboa. 2009.

CONAMA. **Resolução n.º 401, de 4 de novembro de 2008.** Publicada em 5 de novembro de 2008.

DHARMANANDA, S. **Neiguan (Pericardium-6).** Institute for Tradicional Medicine, Portland, Oregon. EUA. Site: <http://www.itmonline.org/arts/pc6.htm>. Acesso em 24 de dezembro de 2018.

DILAS. **Medical Markets.** Mainz, Alemanha. Site: <http://www.dilas.de/pages/medical.php>. Acesso em 10 de janeiro de 2012 (apud JELÍNKOVÁ, 2013).

DIODES INCORPORATED. **DMG2301L P-Channel Enhancement Mode MOSFET.** *Datasheet.* Rev. 3-2. Setembro de 2015.

DOSTÁLOVÁ, T.; JELÍNKOVÁ, H. **Lasers in dentistry. Surgical Solid-State Lasers and Their Clinical Applications.** Woodhead Publishing. Philadelphia. 2013.

DYNALON LABWARE. **Plastic Properties of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)**. Site: https://www.dynalon.com/publicstore/pages/ABS_Properties.aspx. Acesso em 26 de dezembro de 2018.

ENDEAVOR BRASIL. **Uma Espiada na Grama do Vizinho, ou: como fazer benchmarking**. Site: <https://endeavor.org.br/estrategia-e-gestao/benchmarking/>. Acesso em 24 de agosto de 2018.

ENGIOBRA. **Cálculo da área de uma elipse**. Site: <https://engiobra.com/calculadoras/areas/elipse/>. Acesso em 29 de dezembro de 2018.

FILIPEFLOP. **Gravador AVR USBasp**. Site: <https://www.filipeflop.com/produto/gravador-avr-usbasp>. Acesso em 16 de março de 2019.

GARCEZ, A. S.; RIBEIRO, M. S.; NÚÑEZ, S. C. **Laser de Baixa Potência: Princípios Básicos e Aplicações Clínicas na Odontologia**. Rio de Janeiro/RJ: Editora Elsevier. 2012.

GENTEC-EO. **User Manual – Pronto-Si Pocket-Size 800 mW Power Probe**. rev. 1-7. Quebec, Canadá. 2015.

GOMES, C. F.; SCHAPOCHNIK, A. **O Uso Terapêutico do Laser de baixa Intensidade (LBI) em Algumas Patologias e sua Relação com a Atuação na Fonoaudiologia**. *Disturb Comum*, São Paulo, 29 (3). 2017.

GOUVEA, M. **Saiba Qual é a Importância dos Arquivos de Fabricação da PCI: Formato Gerber**. Produza S/A. Site: <https://produza.ind.br/tecnologia/formato-gerber/>. 2015.

HALEY, D.; PRATT, O. **Basic Principles of Lasers**. Elsevier. 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física Vol. 4**. 5 ed. Rio de Janeiro/RJ: LTC. 2004.

HARDY, C. R. **Powering solid-state lasers**. Kigre, Inc. EUA. 2013.

HEIDEGGER, W. **Atlas de Anatomia Humana – Volume 1: Anatomia Geral, Paredes do Tronco, Membros Superior e Inferior**. Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, RJ. 2006.

HIKARI. **Manual de Instruções – Multímetro Digital HM-2030**. 2017.

HULICIUS, E.; KUBEČEK, V. **Semiconductors Lasers for Medical Applications**. Woodhead Publishing. Cambridge, Reino Unido. 2013.

ICEL MANAUS. **Manual de instruções da fonte digital modelo PS-3005**. Dezembro de 2011.

INFOESCOLA. **Espectro Eletromagnético**. InfoEscola – Navegando e Aprendendo. Site: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. Acessado em: 27 de agosto de 2018.

INMETRO. **Portaria Inmetro/Dimel n.º 267**. 16 de julho de 2009. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60825-1**. 1.2 ed. Genebra, Suíça. 2001.

JELÍNKOVÁ, H. **Lasers for Medical Applications: Diagnostics, Therapy and Surgery**. Woodhead Publishing. Philadelphia, EUA. 2013.

KNIGHT, R. D. **Física: Uma Abordagem Estratégica**. 2 ed. Porto Alegre, RS: Bookman. 2009.

KOCHIEV, D. G.; LUKASHEV, A. V.; SHCHERBAKOV, I. A.; VARTAPETOV, S. K. **Surgical Solid-State Lasers and Their Clinical Applications**. Woodhead Publishing. Philadelphia. 2013.

LASER COMPONENTS. **AlGaInP Visible Laser Diode ADL-66505TL Datasheet**. 2014.

LIZARELLI, R. F. Z. **Protocolos Clínicos Odontológicos: Uso do Laser de Baixa Intensidade**. 4 ed. MMO Optics. São Carlos/SP. 2010.

MARTINI, F. H.; TIMMONS, M. J.; TALLITSCH, R. B. **Anatomia Humana**. 6 ed. Artmed. Porto Alegre/RS. 2009.

MERCADO LIVRE. **Kit 10 Carregador Inova V8 1.0a Car-7175 Atacado**. Site: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1014418674-kit-10-carregador-inova-v8-10a-car-7175-atacado-_JM?quantity=1#reco_item_pos=10&reco_backend=machinalis-seller-items&reco_backend_type=low_level&reco_client

=vip-seller_items-above&reco_id=9089f4c2-01ec-43b2-bec3-ea91dd660bd4.

Acesso em 10 de janeiro de 2019.

MERCADO LIVRE. **Pulseira Esporte Borracha 42 mm para Apple Watch Series 1 2 3**. Site: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1070835359-pulseira-esporte-borracha-42mm-para-apple-watch-series-1-2-3-_JM. Acesso em 22 de outubro de 2018.

MICROCHIP. **MCP73831/2 – Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-Ion, Li-Polymer Charge Management Controllers**. *Datasheet*. EUA, 2014.

MICROCHIP. **ATtiny48/88: 8-bit AVR® Microcontroller with 4/8K Bytes In-System Programmable Flash – Datasheet**. Rev. 8008H-AVR-04/11. Atmel Corporation. 2011.

MICROCHIP. **Atmel Studio 7 – User Guide**. 2018.

MICROCHIP. **Getting Started with Atmel Studio 7 – User Guide**. 2018.

MICROCHIP DEVELOPER HELP. **Atmel® Studio 7**. Site: <http://microchipdeveloper.com/atstudio:studio7intro>. Acesso em 23 de março de 2019.

MIKHAYLOV, V. A. **The Use of Intravenous Laser Blood Irradiation (ILBI) at 630-640 nm to prevent vascular diseases and to increase life expectancy**. JMLL. Tóquio, Japão. 2015.

MUNDOFIXX. **Etiquetas de Policarbonato**. Site: <http://www.mundofixx.com.br/produtos/etiquetas-em-policarbonato>. Acesso em 30 de dezembro de 2018.

MUNDOFIXX. **Etiquetas Resinadas**. Site: <http://www.mundofixx.com.br/produtos/etiquetas-resinadas>. Acesso em 30 de dezembro de 2018.

OLIVEIRA, A. S.; ANDRADE, F. S.; **Sistemas Embarcados: Hardware e o firmware na prática**. 2 ed. São Paulo: Érica. 2010.

OLIVEIRA, R. F.; SILVA, C. V.; CERSOSIMO, M. C. P.; BORSATTO, M. C.; FREITAS, P. M. **Laser Therapy on Points of Acupuncture: Are There Benefits in Dentistry?** *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2015.

PENG, Q.; JUZENIENE, A.; CHEN, J.; SVAASAND, L. O; WARLOE, T.; GIERCKSKY, K. E.; MOAN, J. **Lasers in Medicine**. IOP Publishing. Reino Unido. 2008.

PORTAL EDUCAÇÃO. **Métodos de Localização e Medida em Cun**. Site: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/medicina-alternativa/metodos-de-localizacao-e-medida-em-cun/17839>. Acesso em 29 de outubro de 2018.

PRODUTOS HOSPITALARES ONLINE. **Laser para Terapia Lasermed com Caneta Laser 650 nm 12 mWatts – Carci**. Site: https://www.produtoshospitalaresonline.com.br/laser-para-terapia-lasermed-com-caneta-laser-650-nm-12-watts-carci/campanha_id/44?gclid=Cj0KCQjwgOzdBRDIARIsAJ6_HNmJdRMo5W49UB74tE_OpRwxrj38kpgOpIZA3M1IYGjCQra tx9Zo54aApb3EALw_wcB. Acesso em 08 de outubro de 2018.

SENNAROGLU, A. **Solid-State Laser and Applications**. CRC Press. Boca Raton, EUA. 2007.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W.; **Física para Cientistas e Engenheiros vol. 4 – Luz Óptica e Física Moderna**. São Paulo: Editora Cengage Learning. 8. Ed. 2012.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR, J. W. **Princípios de Física Vol. 4 – Óptica e Física Moderna**. 2 ed. São Paulo/SP: Cengage Learning. 2014.

SHOPFISIO. **Laserpulse Ibramed – Aparelho de Laser e Caneta 660 nm Vermelha**. Site: <https://www.shopfisio.com.br/laserpulse-ibramed-aparelho-de-laser-e-caneta-660nm-vermelha-p1062112?tsid=86>. Acesso em 08 de outubro de 2018.

SILVA, A. A.; GONÇALVES, R. C. **Espécies Reativas do Oxigênio e as Doenças Respiratórias em Grandes Animais**. Ciência Rural, Santa Maria. V.40, n.4. 2010.

SILVA, D. F. T.; ALMEIDA-LOPES, L.; RIBEIRO, M. S. **Interação Laser-Tecido Biológico e Princípios de Dosimetria**. Rio de Janeiro, RJ. Saunders Elsevier. 2012.

- SILVA, R. W. T. da. **Laserterapia**. Silvério-Lopes. 2013
- SIPOSAN, D. **Lasers in Neurology**. Woodhead Publishing. Philadelphia. 2013.
- SOBOL, E. N.; SHEKHTER, A. B.; BASKOV, A. V. **Lasers in Orthopaedic Surgery**. Woodhead Publishing. Philadelphia. 2013.
- SOUZA, W. D.; ALMEIDA, G. S. G. **Processamento de polímeros por extrusão e injeção: conceitos, equipamentos e aplicações**. São Paulo, Érica, 2015.
- STREMA BATERIAS. **Li-Ion ICR 103450 (3,7 V – 1700 mAh)**. Site: <https://stremabaterias.com.br/produto/estoque/151/66/li-ion-icr-103450-37v-1700mah/>. Acesso em 24 de dezembro de 2018.
- SUNLED. **Part Number: XZMDKVG54W-4. Datasheet**. 2016.
- TCM Points – Tradicional Chinese Medicine Points. **Ponto de Acupuntura PC6 – Neiguan**. Site: <https://tcmpoints.com/br/chong-mai/pc6-neiguan>. Acesso em 29 de outubro de 2018.
- TEXAS INSTRUMENTS. **LM3668 1-A, High-Efficiency Dual-Mode Single-Inductor Buck-Boost DC-DC Converter. Datasheet**. Dallas, Texas, EUA. Abril de 2015.
- THOMAS, G.; ISAACS, R. **Basic Principles of Lasers**. Elsevier. 2011.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros Vol. 2: Eletricidade e Magnetismo, Óptica**. Rio de Janeiro, RJ: LTC. 2009.
- TONEZZER, T.; TAGLIAFERRO, J.; COCCO, M.; MARX, A. **Uso da Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea Aplicado ao Ponto de Acupuntura PC6 para a Redução dos Sintomas de Náuseas e Vômitos Associados à Quimioterapia Antineoplásica**. Revista Brasileira de Cancerologia. 2012.
- VASCONCELOS, Y. **Mais Energia**. Revista Pesquisa FAPESP. 2017. Site: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/11/24/mais-energia>. Acesso em 29 de outubro de 2018.

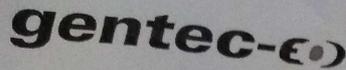
VENEGAS, D. R. D.; BELTRÁN, E.; GONZÁLEZ, C. **Uso de la Acupuntura Láser em Dolor Neuropático.** Revista Internacional de Acupuntura. Elsevier. 2014.

WEBER, M. H. **The Intravenous Laser Blood Irradiation – Introduction of a New Therapy.** Medical Center, Lauenförde, Alemanha. 2009.

WURTH ELEKTRONIK. **WL-SMCW SMT Mono-color Chip LED Waterclear.** *Datasheet.* Alemanha, 2019.

ZHANG, J; MARGUINA, N; OXINOS, G.; SAU, A.; NG, D. **Effect of Laser acupoint treatment on blood pressure and body weight – a pilot study.** Journal of Chiropractic Medicine. Pag 134-139. Dezembro de 2008.

ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR DE POTÊNCIA DE LASER GENTEC-EO PRONTO-SI



CERTIFICATE OF CALIBRATION

Certificate #: 252489-180727 Model Number: PRONTO-Si Head Serial Number: 252489 Firmware Version: 1.00.08 Cal. Procedure: 420- 190244	Customer Name: V14 Instrument ID: Date of Calibration: July 27, 2018 Calibration Due Date: January 26, 2020
--	--

Calibration Data

Sensitivity [A/W]										
Calibration without attenuator										
λ [nm]	00	10	20	30	40	50	60	70	80	90
300			0.1766	0.1778	0.1760	0.1713	0.1633	0.1595	0.1650	0.1765
400	0.1881	0.1993	0.2099	0.2199	0.2301	0.2405	0.2510	0.2621	0.2736	0.2852
500	0.2970	0.3090	0.3208	0.3322	0.3440	0.3558	0.3677	0.3793	0.3908	0.4024
600	0.4140	0.4253	0.4365	0.4474	0.4583	0.4694	0.4802	0.4906	0.5006	0.5106
700	0.5205	0.5297	0.5389	0.5483	0.5574	0.5661	0.5748	0.5833	0.5919	0.6006
800	0.6068	0.6131	0.6211	0.6291	0.6366	0.6442	0.6518	0.6594	0.6665	0.6737
900	0.6804	0.6882	0.6970	0.7032	0.7094	0.7120	0.7147	0.7114	0.7080	0.6875
1000	0.6554	0.6120	0.5457	0.4794	0.4125	0.3451	0.2777	0.2191	0.1694	0.1295
1100	0.0971									

Calibration with attenuator										
λ [nm]	00	10	20	30	40	50	60	70	80	90
300			0.01827	0.02040	0.02171	0.02361	0.02611	0.02699	0.02714	0.02721
400	0.01402	0.01614	0.01827	0.02040	0.02171	0.02361	0.02611	0.02699	0.02714	0.02721
500	0.02751	0.02826	0.02943	0.03100	0.03274	0.03393	0.03458	0.03423	0.03416	0.03435
600	0.03603	0.03795	0.04010	0.04164	0.04324	0.04489	0.04811	0.05275	0.05880	0.06594
700	0.07307	0.07720	0.08132	0.08315	0.08434	0.08491	0.08504	0.08473	0.08418	0.08340
800	0.08198	0.08056	0.07912	0.07768	0.07607	0.07446	0.07279	0.07111	0.06948	0.06786
900	0.06629	0.06491	0.06370	0.06243	0.06116	0.05982	0.05847	0.05694	0.05542	0.05285
1000	0.04957	0.04557	0.04028	0.03499	0.02986	0.02488	0.01991	0.01565	0.01209	0.00927
1100	0.00699									

Accuracy (95% level of confidence)		
without attenuator		with attenuator
320 - 399 nm	± 6.0 %	
400 - 449 nm	± 2.0 %	400 - 980 nm ± 4 %
450 - 940 nm	± 1.5 %	
941 - 980 nm	± 2.0 %	
981 - 1049 nm	± 5.0 %	981 - 1049 nm ± 5 %
1050 - 1100 nm	± 7.0 %	1050 - 1100 nm ± 7 %

Ambient Temp : 22 °C
 Relative Humidity : 48 %

* Sensitivities under 320 nm are not traceable

Test Equipment and Standards Used

ID#	Description	Serial#	Last Cal.	By	Certificate #
EOC-1018	Varian, CARY 5000, Spectrophotometer	UV0812M344	n/a	n/a	n/a
EOCE-729	Gentec-EO, P-LINK USB, monitor	211671	Aug. 09, 2017	Gentec-EO	211671-170809
EOCE-731	Gentec-EO, P-LINK USB, monitor	213631	Oct. 03, 2017	Gentec-EO	213631-171003
EOCE-915	Gentec-EO, PH100-SIUV-WL, wattmeter	232414	Jan. 16, 2018	NRC-CNRC	PAR-2018-3489
EOCE-388	Keithley 220, programmable current source	4069090	Nov. 29, 2017	Pylon	H54394

Declaration of Conformity

Gentec Electro-Optics certifies that, at the time of calibration, the above listed instruments meet or exceed all of the specifications defined in the calibration procedure(s) or customer specification(s). The above listed instruments have been calibrated using standards traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST) or the National Research Council of Canada (NRC).

A. C. [Signature]
 Technician

[Signature]
 Quality Assurance

SEP 17 2018
 Date

No reproduction of this document is permitted except in full

190245 Rev AA

GENTEC ÉLECTRO-OPTIQUE inc. GENTEC ELECTRO-OPTICS, Inc.

445, St-Jean-Baptiste, Suite 160, Québec, QC, G2E 5N7, Canada T) 418.651.8003 F) 418.651.1174 1.888.5Gentec (543.6832) E) info@gentec-eo.com W) gentec-eo.com

ANEXO B – DATASHEET ADL-66505TL



AlGaInP Visible Laser Diode

ADL-66505TL

6-2D-LD66-010_Rev.00

★660nm 50mW 60°C

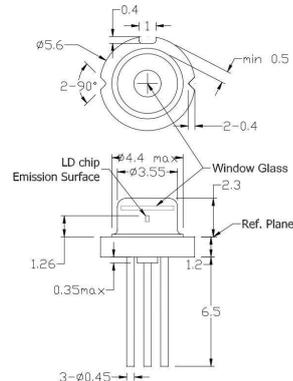
Reliable High Power Operation

• **Features**

1. Highly reliable
2. Higher power
3. High efficiency
4. Low operating current

• **Applications**

1. High power Laser modules
2. Industrial laser markers / measuring instruments
3. Medical application



• **Absolute maximum ratings**

Parameter	Symbol	Condition	Rating	Unit
Light output power	P _O	CW	52	mW
Reverse voltage (LD)	V _{RL}	-	2	V
Reverse voltage (PD)	V _{RD}	-	30	V
Forward current (PD)	I _{FD}	-	10	mA
Case temperature	T _C	-	-10~+60	°C
Storage temperature	T _S	-	-40~+85	°C

• **Electrical and optical characteristics (T_c=25°C)**

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions
Peak wavelength	λ	650	660	670	nm	P _o =50mW, CW
Threshold current	I _{th}	-	45	60	mA	Kink free
Operating current	I _{op}	-	90	120	mA	
Operating voltage	V _{op}	2.0	2.5	3.0	V	
Differential efficiency	η	0.7	1.0	1.4	mW/mA	P _o =45-50mW
Monitor current*	I _m	0.05	0.2	0.5	mA	P _o =50mW, V _{BP} =5V
Parallel divergence angle	θ	6	9	13	deg	
Perpendicular divergence angle	θ _⊥	13	17	22	deg	
Parallel FFP deviation angle	Δθ	-3	0	+3	deg	P _o =50mW
Perpendicular FFP deviation angle	Δθ _⊥	-3	0	+3	deg	
Emission point accuracy	Δx Δy Δz	-80	0	+80	um	

• **Precautions**

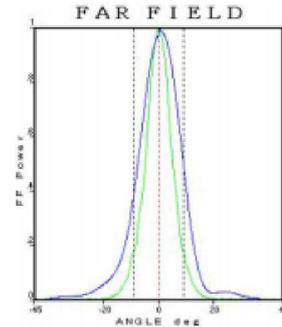
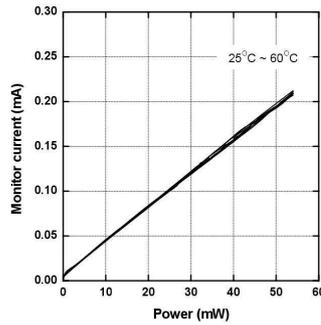
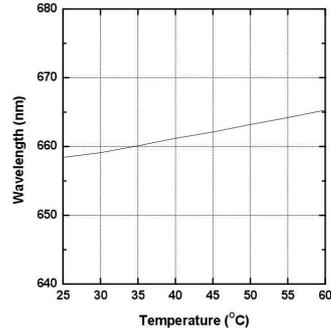
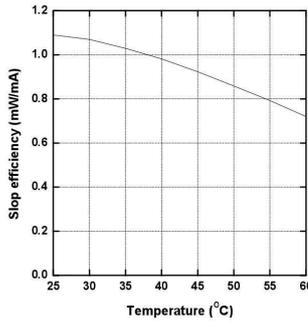
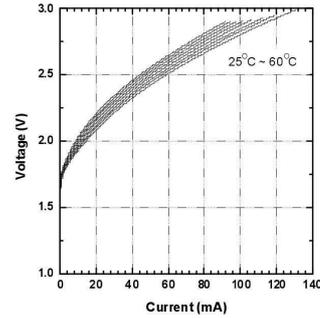
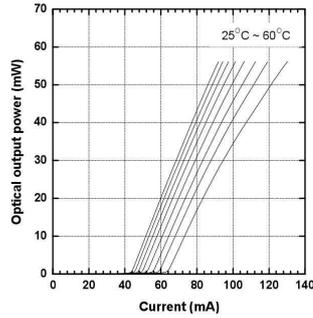
- * Do not operate the device above maximum ratings. Doing so may cause unexpected and permanent damage to the device.
- * Take precautions to avoid electrostatic discharge and/or momentary power spikes. A change in the characteristics of the laser or premature failure may result.
- * Proper heat sinking of the device assures stability and lifetime. Always ensure that maximum operating temperatures are not exceeded.
- * Observing visible or invisible laser beams with the human eye directly, or indirectly, can cause permanent damage. Use a camera to observe the laser.
- * No laser device should be used in any application or situation where life or property is at risk in event of device failure.
- * Specifications are subject to change without notice. Ensure that you have the latest specification by contacting us prior to purchase or use of the product.

* For reference only. Contents above are subject to change without notice.



AlGaInP Visible Laser Diode

ADL-66505TL
6-2D-LD66-010_Rev.00



** For reference only. Contents above are subject to change without notice.*

10/14 / V2 / HW / aima/655nm/adl-66505tl

Germany & Other Countries
Laser Components GmbH
Tel: +49 8142 2864 - 0
Fax: +49 8142 2864 - 11
info@lasercomponents.com
www.lasercomponents.com

France
Laser Components S.A.S.
Tel: +33 1 39 59 52 25
Fax: +33 1 39 59 53 50
info@lasercomponents.fr
www.lasercomponents.fr

United Kingdom
Laser Components [UK] Ltd.
Tel: +44 1245 491 499
Fax: +44 1245 491 801
info@lasercomponents.co.uk
www.lasercomponents.co.uk

Nordic Countries
Laser Components Nordic AB
Tel: +46 31 703 71 73
Fax: +46 31 703 71 01
info@lasercomponents.se
www.lasercomponents.se

USA
Laser Components USA, Inc.
Tel: +1 603 821 - 7040
Fax: +1 603 821 - 7041
info@lasercomponents.com
www.lasercomponents.com