

SUBMETIDO 23/03/2022

APROVADO 18/07/2022

PUBLICADO ON-LINE 25/07/2022

PUBLICADO 10/01/2024

EDITOR ASSOCIADO
Pedro Bertemes Filho

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2022id6761>

ARTIGO ORIGINAL

Caracterização de um dispositivo portátil para irradiação de sangue por laser extravascular

RESUMO: A terapia por ILIB (*Intravascular Laser Irradiation of Blood*) estimula as células sanguíneas com irradiação a laser, proporcionando benefícios ao sistema imunológico e à microcirculação sanguínea e alívio de dores e de inflamações. A interação da radiação laser com tecidos biológicos é utilizada para fins diagnósticos ou terapêuticos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento eletrônico portátil capaz de aplicar a ILIB de forma tópica (extravascular). Este trabalho não inclui resultados dos efeitos terapêuticos em pessoas ou animais, apenas trata das interações do laser com tecidos biológicos e da caracterização do dispositivo. A partir disso, são mostradas todas as fases de elaboração do protótipo e sua caracterização, atendendo aos requisitos pré-estabelecidos para a laserterapia. Parâmetros como potência, temperatura e consumo foram medidos durante o funcionamento do protótipo. Esse aparelho é menor do que os similares encontrados na literatura, vestível no pulso, sem fio, com bateria de longa autonomia e muito confortável durante as sessões de uso. Doravante será denominado *ELIB Device* (*Extravascular Laser Irradiation of Blood Device*).

Palavras-chave: dispositivo para ILIB; ILIB modificada; laserterapia.

-  Luiz Fernando Vieira ^[1]
-  Waldemar Bonventi Junior ^{[2]*}
-  José Martins de Oliveira Junior ^[3]
-  Norberto Aranha ^[4]

[1] luiz.vieira@facens.br
Faculdade de Engenharia de Sorocaba (Facens), Brasil

[2] waldemar.junior@fatec.sp.gov.br
Faculdade de Tecnologia de Sorocaba (FATEC), Brasil

[3] jose.oliveira@prof.uniso.br

[4] norberto.aranha@prof.uniso.br
Universidade de Sorocaba (Uniso), Brasil

Characterization of a portable device for extravascular laser blood irradiation

ABSTRACT: *ILIB (Intravascular Laser Irradiation of Blood) therapy uses laser irradiation to stimulate blood cells, which benefits the immune system, blood microcirculation, and relieves pain and inflammation. Laser radiation interacts with biological tissues for diagnostic or therapeutic purposes. The goal of this project was to create a portable electronic device capable of applying ILIB topically. This research does not concern therapeutic effects on humans or animals, but rather laser interactions with biological tissues and device characterization. Also, this work demonstrates all stages of prototype development and characterization while meeting the pre-established laser therapy requirements. Power, temperature, and consumption were all measured during the prototype's operation. This device is smaller than similar ones found in the literature, wearable on the wrist, wireless, with a long-lasting battery,*

*Autor para correspondência.

and very comfortable during sessions of use. Hereinafter referred to as ELIB Device (Extravascular Laser Irradiation of Blood Device).

Keywords: ILIB device; laser therapy; modified ILIB.

1 Introdução

A luz laser é produzida pela emissão de fótons quando os elétrons decaem de seus níveis energéticos de maneira coerente e estimulada (Bagnato, 2001). 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, caracterizada pela “dualidade onda-partícula” (Haley; Pratt, 2017). O advento do laser na década de 1960, marcado pelo desenvolvimento tecnológico, notadamente a inovação do laser semicondutor, proporcionou avanços significativos, destacando-se a estabilidade química, a robustez mecânica e uma vida útil prolongada como algumas de suas principais propriedades. Essas propriedades permitiram a ampla utilização do laser em tecnologia e ciência, como espectroscopia, micromáquinas, monitoramento atmosférico, metrologia de precisão etc. (Sennaroglu, 2007).

Na área médica, sua utilização é baseada na interação 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; e tempo de exposição (Jelinkova, 2013). As interações, a partir das características do laser, podem ser dos tipos (Peng *et al.*, 2008):

- 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.

A terapia ILIB (*Intravascular Laser Irradiation of Blood*, ou irradiação intravascular do sangue por laser) é um método de estimulação química e biológica baseado na irradiação do laser sobre as células sanguíneas, por aplicação cutânea, cujo comprimento de onda na faixa infravermelha é capaz de atingir essas células. Essa terapia proporciona benefícios como fortalecimento do sistema imunológico, melhora na microcirculação sanguínea e alívio de dores e inflamações (Isabella *et al.*, 2019; Meneguzzo *et al.*, 2016; Weber, 2007). Ainda, foram relatados efeitos positivos no tratamento da diabetes por Silva Júnior *et al.* (2022). Um dos trabalhos mais recentes sobre ILIB consiste em uma revisão sistemática sobre o tema (Tomé *et al.*, 2020). No Brasil, existem equipamentos sendo comercializados que realizam a terapia ILIB de maneira tópica (BCMED, 2022; Produtos Hospitalares Online, 2022; Shopping do Fisioterapeuta, 2022).

O objetivo deste trabalho foi construir e testar um protótipo para o futuro desenvolvimento de um equipamento eletrônico portátil capaz de atender aos requisitos da laserterapia denominada ILIB modificada, que realiza a fotobioestimulação de forma

tópica. Como produto diferencial, é alimentado por bateria, sem cabeados, compacto, em formato anatômico e que permite a liberdade de movimentos para o usuário durante a sessão. O protótipo foi concebido tendo como requisito principal o posicionamento das fontes laser no pulso do usuário, para se aferir seus efeitos na temperatura, na eficiência da penetração luminosa, na potência requerida e no tempo contínuo de terapia relativo à autonomia do aparelho, visando ao conforto de uso e à eficácia terapêutica. Este trabalho não inclui o teste em pessoas ou animais, somente o projeto e a caracterização do protótipo, e atende às exigências preestabelecidas para a laserterapia.

Na seção 2 deste artigo são apresentados os fundamentos da laserterapia e o projeto do protótipo. A seção 3 trata da metodologia empregada para caracterizar a utilização do laser no protótipo e seus resultados, com as principais conclusões na seção 4.

2 Fundamentos e características do protótipo

Nesta seção, são apresentadas as características dos lasers em função dos seus efeitos biológicos e terapêuticos e alguns dos resultados da aplicação da ILIB, que nortearam a concepção do protótipo. Ainda, são descritos os componentes físicos do protótipo e seu projeto.

2.1 Laser semicondutor

O laser semicondutor, também conhecido como diodo laser, desenvolvido em 1972, proporciona maior eficiência ótica e aumento na vida útil em comparação aos demais lasers disponíveis. Seu rendimento energético 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. Os avanços tecnológicos resultaram em dispositivos mais confiáveis, com preços mais acessíveis e mais compactos (Bartels, 2002; Hardy, 2013).

O laser semicondutor também é utilizado como fonte de excitação para outros tipos de laser, devido às 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; Kubecek, 2013). O Quadro 1 apresenta as aplicações médicas mais usuais dos diodos semicondutores em tratamentos de saúde; já os efeitos do laser nos seres humanos e seus riscos estão listados no Quadro 2.

Quadro 1 ▼

Aplicações médicas típicas para diferentes comprimentos de onda de diodos laser.
Fonte: Coherent (2021)

Comprimento de onda λ (nm)	Aplicações médicas
405	Terapia fotodinâmica
630-635, 652, 668	Terapia fotodinâmica
689, 730	Terapia fotodinâmica relacionada à degeneração macular devida 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

Quadro 2 ▼

Classificação dos produtos conforme categoria do laser.

Fonte: Coherent (2021)

A partir dos anos 1970, 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 60825-1:2014 (IEC, 2014).

Classe	Potência máxima emitida	Efeitos dos produtos
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

Para a execução dos testes propostos neste trabalho, nas condições mais próximas possíveis da utilização pelos pacientes, decidiu-se criar um protótipo, cujos requisitos são descritos na subseção 2.3.

2.2 Irradiação intravascular do sangue por laser (ILIB)

A terapia conhecida como ILIB (*Intravascular Laser Irradiation of Blood*) foi apresentada em 1981 por cientistas soviéticos para o tratamento de doenças cardiovasculares. Foi constatada melhora nos indicadores de microcirculação e nas características de circulação sanguínea. Consequentemente, os índices de infartos, disritmia e morte súbita por patologias cardíacas também apresentaram melhora. No entanto, notou-se que, além dos indicadores cardíacos, o laser também apresentou efeitos positivos em outros órgãos, bem como no próprio sistema sanguíneo e imunológico (Weber, 2007).

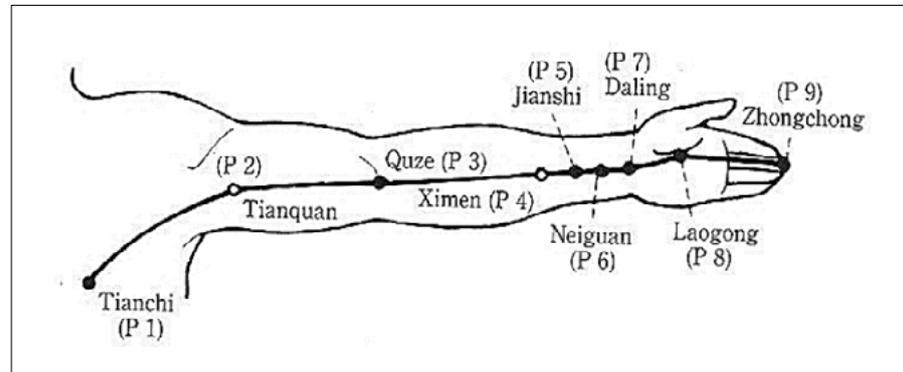
Atualmente, a aplicação do laser pode ser feita de forma não invasiva, apontando-se o feixe em direção à artéria que será irradiada (Silva Júnior *et al.*, 2022). A aplicação da terapia de forma tópica é chamada de ILIB Russa ou ILIB42 modificada e é feita aplicando-se o laser vermelho de baixa potência (aproximadamente 660 nm) continuamente sobre a artéria radial (Gomes; Schapochnik, 2017). Os efeitos da 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-se a ação das espécies reativas de oxigênio. A ILIB também pode atuar favorecendo a antiagregação plaquetária e a produção de ácido araquidônico. Assim, nota-se atenuação dos processos de envelhecimento e mutação celular, redução dos processos inflamatórios e diminuição do risco de problemas vasculares (Gomes; Schapochnik, 2017).

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). 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 1). A aplicação do laser nesse ponto pode ser feita por métodos invasivos e não invasivos e é recomendada para quimioterapia, pós-operatório, gestação etc. Também se notam efeitos positivos no trato gastrointestinal, no tronco encefálico (pela liberação de opioides endógenos), no controle da dor em nível medular e no sistema nervoso simpático (Tonezzer *et al.*, 2012).

Figura 1 ►

Pontos de acupuntura no braço e antebraço.
Fonte: Dharmananda (1998)



2.3 O projeto do dispositivo

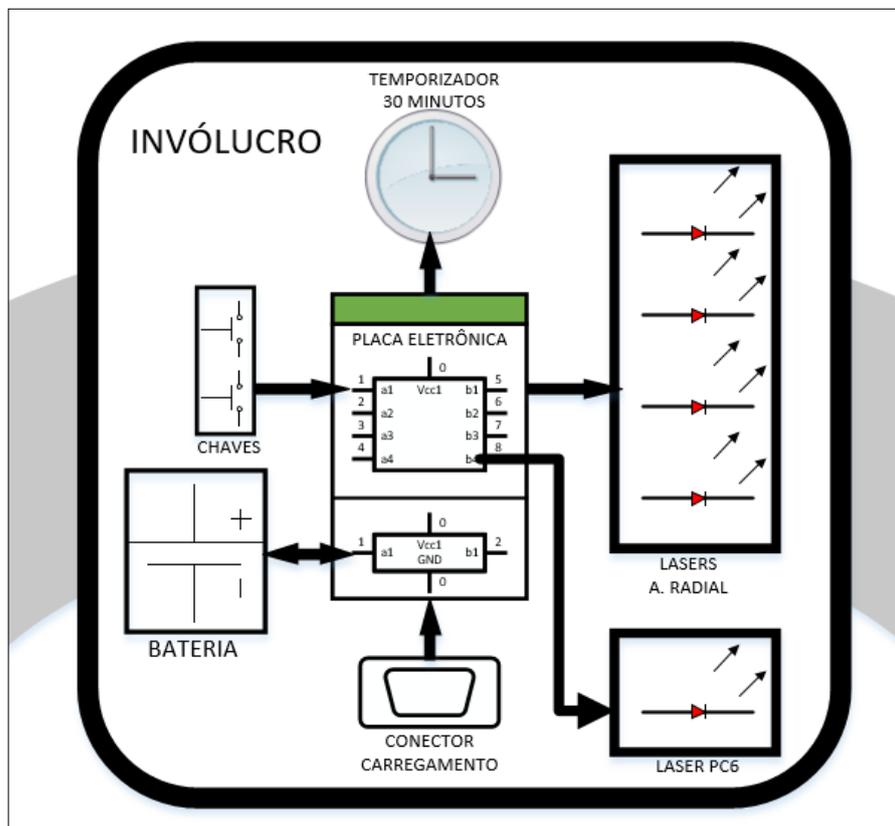
Baseando-se nos princípios físicos e biológicos do laser e da técnica ILIB e considerando a análise de produtos similares do mercado, foram propostas as principais características para o protótipo em desenvolvimento, tornando-o vantajoso em relação aos demais consultados no mercado (BCMED, 2022; Produtos Hospitalares Online, 2022; Shopping do Fisioterapeuta, 2022):

- dispositivo emissor de laser alimentado por bateria para permitir a liberdade de movimentos durante as sessões de tratamento;
- temporizador de até 30 minutos para cada sessão;
- autonomia da bateria 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 pesquisados, permitindo facilidade de transporte, armazenamento e utilização;
- laser com $660 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$ para a faixa de comprimento de onda capaz de realizar a bioestimulação e os efeitos fotoquímicos;
- densidade de potência acima de $1,0 \text{ W/cm}^2$ para realizar os efeitos fotoquímicos e de bioestimulação;
- utilização de 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;
- um emissor laser dedicado para realizar acupuntura no ponto PC6 (Neiguan) para benefícios adicionais ao tratamento (Azevedo, 2017);

- custo do protótipo competitivo com os produtos similares;
- carregamento da bateria realizável por carregadores comuns existentes no mercado;
- produto de fácil operação, dispensando treinamento prévio.

Com o objetivo de obter 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. Pelas características indicadas para realizar a fotobioestimulação e os efeitos fotoquímicos desejados, escolheu-se o componente ADL-66505TL, do fabricante Laser Components®, de comprimento de onda 660 nm, potência 52 mW e encapsulamento com 5,6 mm de diâmetro. Escolheu-se, ainda, apresentar as informações de temporização e de carga de bateria utilizando LEDs indicativos com encapsulamento padrão SMD 0805 (2,0 mm de altura × 1,2 mm de largura × 0,5 mm de altura). Uma coluna formada por seis 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 minutos. Assim, é possível selecionar de 5 a 30 minutos de sessão. O modelo escolhido foi o LED vermelho 150080SS75000, da empresa Würth, com corrente nominal de 20 mA (Würth Elektronik, 2019). Também foi colocado um LED modelo XZMDKVG54W-4, da empresa SunLED, para indicar o status da bateria (SunLED, 2020). Um LED bicolor (vermelho e verde) sinaliza quando a bateria está próxima de acabar e quando está totalmente carregada. Esse componente também possui encapsulamento padrão SMD 0805 e consumo nominal de 20 mA. A bateria foi dimensionada em função da autonomia pretendida e do espaço disponível, sendo escolhida uma recarregável de lítio íon ICR 103450, com tensão 3,7 V e disponibilidade de carga 1700 mAh, do fabricante ExPower®. O diagrama construtivo do modelo está na Figura 2.

Figura 2 ►
Diagrama básico do protótipo.
Fonte: desenvolvido pelos autores



3 Métodos e resultados

Conforme mencionado anteriormente, testes de desempenho do laser aplicado sobre o pulso do usuário e fora deste, diante de sensores de temperatura, foram realizados a fim de medir conforto e eficácia da aplicação. O protótipo instalado no pulso do usuário, na direção do ponto PC6 (Neiguan), pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 ▶
Protótipo funcional
utilizado para os testes.
Fonte: arquivo
dos autores



Para validar os emissores laser selecionados, utilizou-se um medidor de potência luminosa específico para lasers, modelo PRONTO-SI®, da empresa GENTEC-EO; o multímetro digital HM-2030 Hikari®; e a fonte de alimentação regulável modelo PS-3005 Icel®.

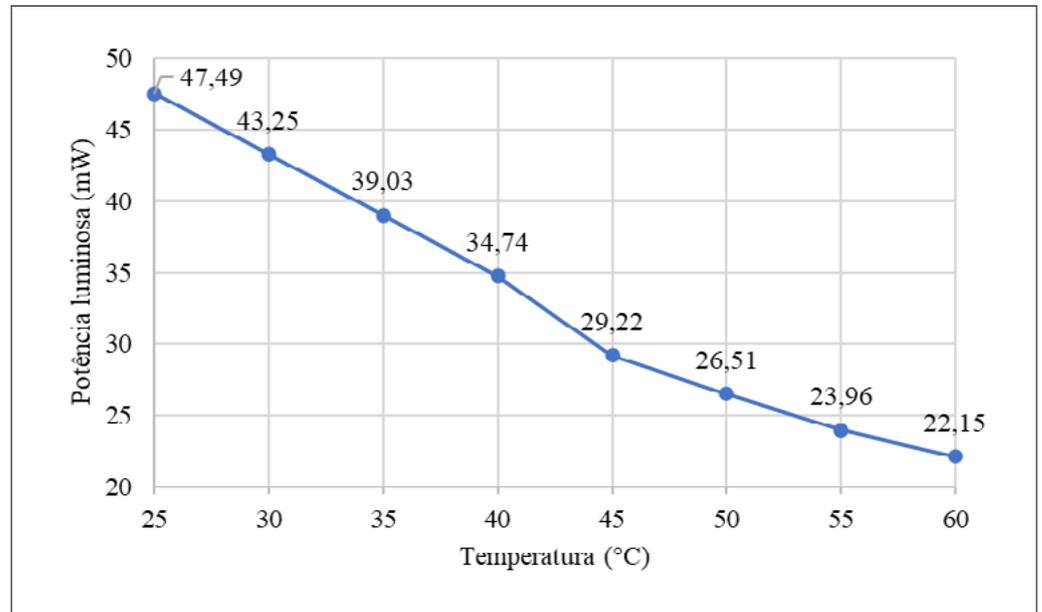
Os testes descritos nesta seção foram realizados em duplicata, cujos resultados não diferiram mais do que 5%. A precisão dos instrumentos conforme a escala utilizada está expressa na quantidade dos algarismos significativos informados nos dados.

3.1 Verificação da potência luminosa pela temperatura

O primeiro teste consistiu em verificar o comportamento da potência luminosa do laser conforme o aquecimento do dispositivo. O propósito desse teste é verificar se há variação da potência luminosa com o aquecimento natural do componente quando energizado e verificar a temperatura máxima que o componente atinge quando alimentado com a corrente nominal de operação (90 mA), 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 realizadas 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, em um tempo de 6 s. Os resultados adquiridos são apresentados na Figura 4 (próxima página).

Figura 4 ▶

Potência luminosa (em mW)
versus temperatura (em °C).
Corrente de operação de
90 mA, e sem distanciamento
entre laser e sensor.
Fonte: dados da pesquisa



O resultado obtido é condizente com o gráfico que relaciona a eficiência energética do componente e sua temperatura, apresentado em seu *datasheet* (Laser Components, [20--?]). 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.

3.2 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 foi medido o comportamento da tensão de polarização do componente, pois é necessária a tensão para dimensionar o circuito limitador de corrente para os diodos laser do produto. O laser foi soldado sobre uma placa com área de cobre extensa para que se 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 do sensor do medidor. A fonte de alimentação foi 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 (o *display* da fonte possui uma resolução de 10 mA).

O procedimento foi iniciado com a tensão da fonte em 0 V e, gradativamente, aumentou-se a tensão sobre o diodo laser, com incrementos de 10 mA de corrente no circuito, anotando-se os valores da potência luminosa até a corrente nominal do componente, de 90 mA (Figura 5), para análise do comportamento. Anotaram-se

também os valores da tensão fornecida pela fonte, observando o *display* da fonte regulável, para cada medição realizada, gerando assim o gráfico da tensão de condução do componente (Figura 6).

Figura 5 ▶

Potência luminosa (em mW) versus corrente (em mA), na temperatura de 25 °C e sem distanciamento entre o laser e o sensor.
Fonte: dados da pesquisa

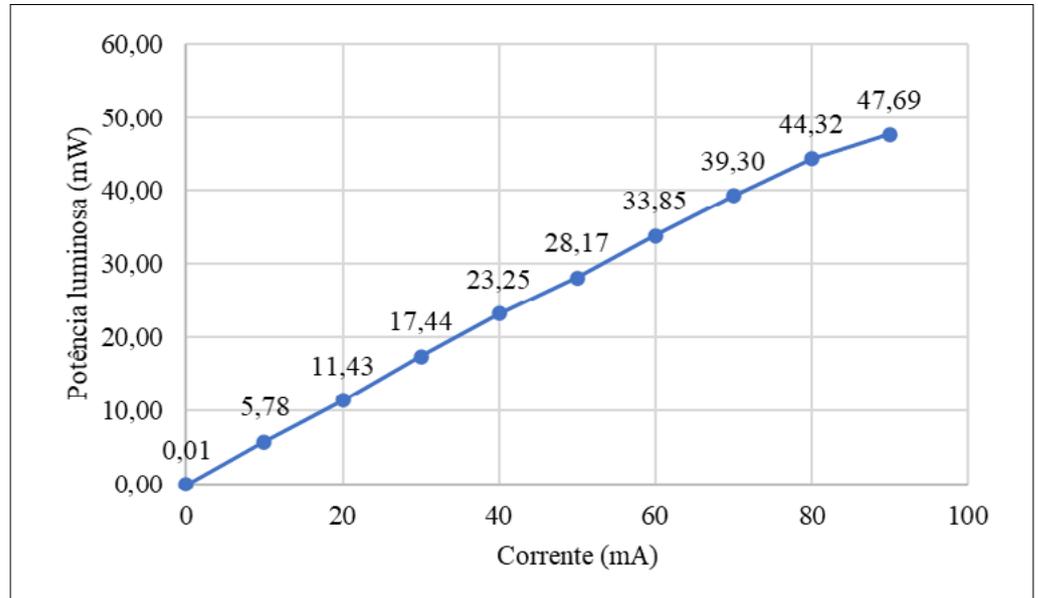
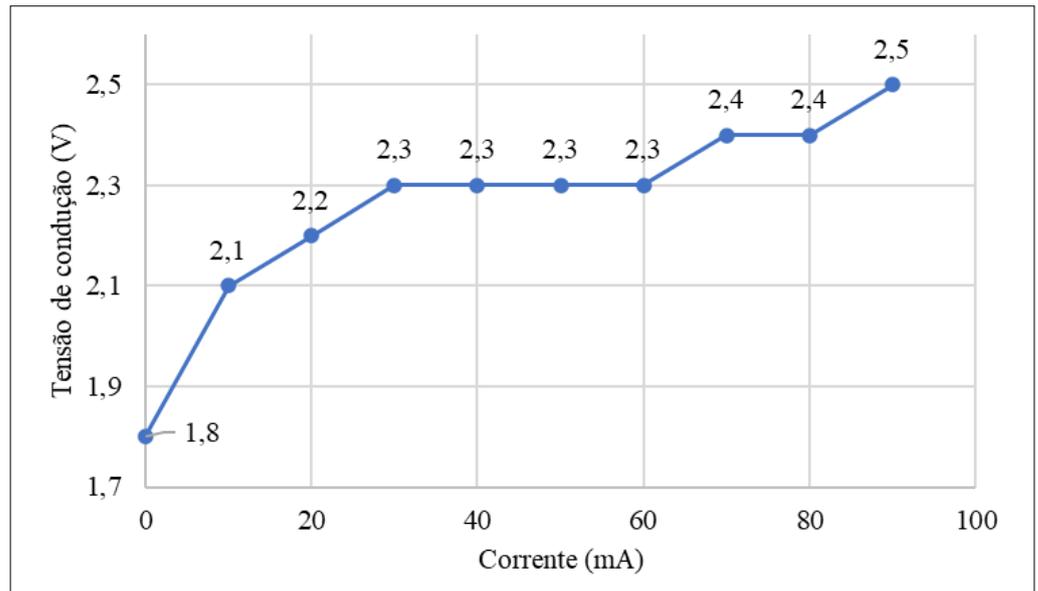


Figura 6 ▶

Tensão de condução (em V) versus corrente (em mA), na temperatura de 25 °C e sem distanciamento entre o laser e o sensor.
Fonte: dados da pesquisa



Nota-se que a relação entre a corrente e a potência luminosa é praticamente linear (Figura 5), caracterizada pelo coeficiente entre as duas variáveis:

$$m = \frac{\Delta P}{\Delta I} = \frac{P_1 - P_0}{I_1 - I_0} \quad (1)$$

em que: m é o coeficiente que relaciona a quantidade de potência luminosa produzida para cada miliampere de corrente elétrica aplicada no laser (em mW/mA); ΔP é a variação de potência entre dois pontos do gráfico (Figura 5) 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_I); ΔI é a variação da corrente entre dois pontos da Figura 5 – nesse caso, entre a corrente de 0 mA (I_0) e a corrente de 10 mA (I_I).

A obtenção desse coeficiente facilita o dimensionamento da energia necessária para fornecer a potência luminosa ideal para o tratamento, com o valor estimado de:

$$m = \frac{5,78 - 0,01}{10 - 0} = 0,577 \text{ mW / mA} \quad (2)$$

A avaliação da Figura 6 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 apenas 0,7 V. 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, dada pela Equação 3:

$$P_{in} = V \times I \quad (3)$$

em que: P_{in} é a potência elétrica consumida (em W); V é a tensão sobre o componente (em V); I é a corrente passante pelo componente (em A). Assim, obtém-se para P_{in} :

$$P_{in} = 2,5 \times 90 \cdot 10^{-3} = 225 \text{ mW}$$

Com esse resultado, é possível determinar o rendimento do componente para a condição nominal, ou seja, em regime de funcionamento, estimado pela Equação 4:

$$\eta = \frac{P_0}{P_{in}} \quad (4)$$

sendo: η , o rendimento percentual do laser na condição nominal; P_0 , a potência luminosa na condição nominal (em mW); P_{in} , a potência elétrica na condição nominal (em mW).

O rendimento desse dispositivo resultou em:

$$\eta = \frac{47,69}{225} \times 100 \% = 21,2 \%$$

O laser semiconductor possui um rendimento energético entre 30% e 50%, ou seja, esse componente, especificamente, apresenta um rendimento abaixo do esperado para sua categoria. Consequentemente, uma quantidade maior de energia é perdida em forma de calor.

3.3 Verificação da potência luminosa pelo tempo

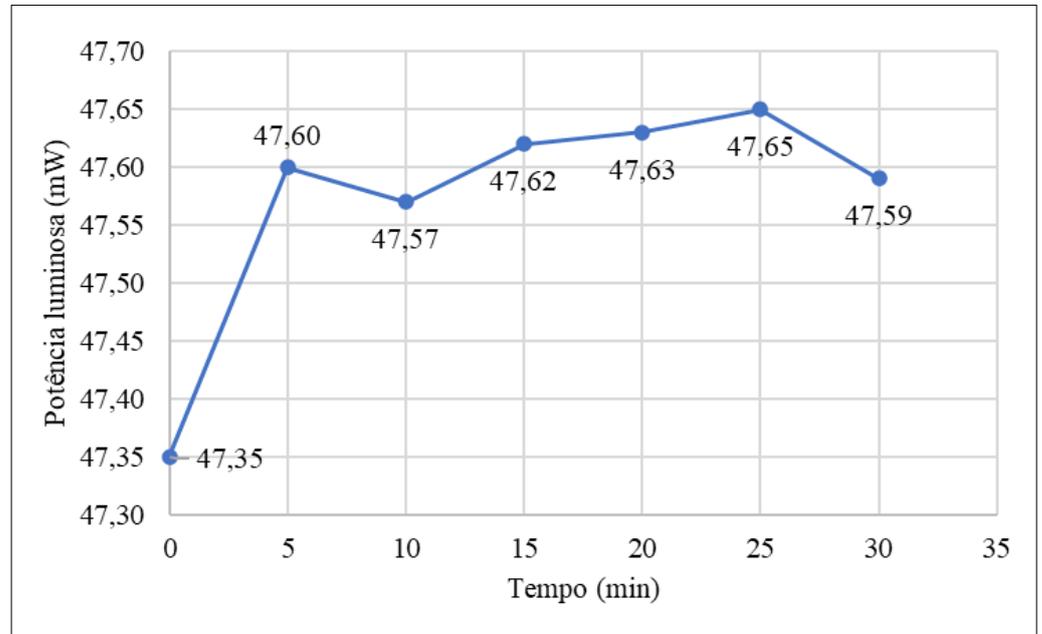
O terceiro teste consistiu em verificar se há variações significativas da potência luminosa do diodo laser com o passar do tempo. Para esse procedimento, ajustou-se a fonte

de alimentação para fornecer a corrente nominal de 90 mA; o calor gerado pelo componente foi dissipado pela placa de cobre, para que a temperatura não subisse acima de 25 °C durante o período de testes. O emissor estava encostado ao detector do medidor de potência do laser. A partir do momento que a fonte foi ligada, a potência luminosa foi medida a cada 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 são visualizados na Figura 7.

Figura 7 ▶

Potência luminosa (em mW) versus tempo (em minutos) com corrente de operação de 90 mA, temperatura de 25 °C e sem distanciamento entre o laser e o sensor.

Fonte: dados da pesquisa



Foi observado que a potência luminosa apresentou variação muito baixa de potência, sendo a maior diferença observada entre o instante 0 minutos e o instante 25 minutos, de 0,3 mW. Isso representa uma variação de 0,63% se comparada com o valor da potência luminosa no instante inicial 0 minutos (de valor mais baixo). Isso permite afirmar que, ao longo de toda uma 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.

3.4 Verificação da potência luminosa pela distância

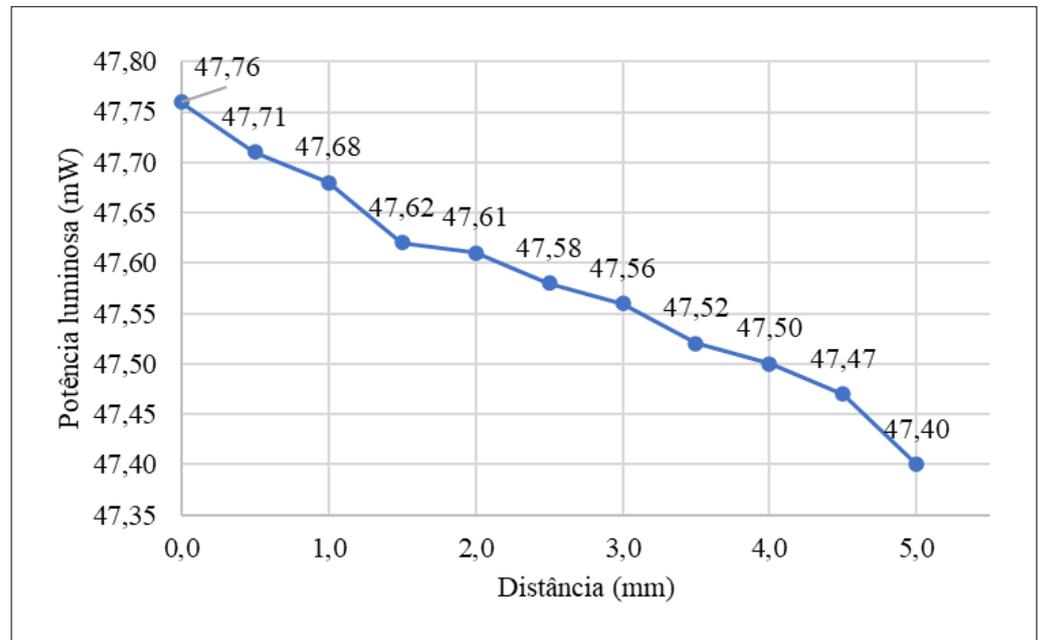
No quarto teste foi verificado se há variações de potência luminosa do laser dependendo da distância existente entre o emissor e o corpo iluminado. Para a realização do teste, ajustou-se a fonte para fornecer a corrente de valor nominal (90 mA). O componente estava ligado ao dissipador de calor para 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 um produto com dimensões que infringiriam esse pré-requisito. Os dados coletados são apresentados na Figura 8.

Pode-se notar que há um decaimento gradativo de potência luminosa, conforme o componente se afasta do instrumento medidor, no entanto, a diferença entre as potências medidas na posição 0 mm e na posição 5 mm é de 0,32 mW, ou seja, 0,67% se comparada com o valor da potência na posição 0 mm. Isso se deve ao fato de o 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 é necessária uma distância de alguns poucos milímetros entre o diodo laser e a pele do paciente para que o aquecimento do componente durante o uso não incomode ou até mesmo cause queimaduras na pele. Assim, sabendo-se que é bem pequena a diferença de energia fornecida pelos lasers a poucos milímetros de distância do alvo, pode-se afirmar que a adição desse distanciamento não afeta a eficácia do tratamento.

Figura 8 ▶

Potência luminosa (em mW) versus distância (em mm) entre laser e sensor. Corrente de operação de 90 mA e temperatura de 25 °C.
Fonte: dados da pesquisa



Além disso, na elaboração da caixa do protótipo, foram desenvolvidos apoios sobre os quais se acomodam os lasers, de forma que eles fiquem a aproximadamente 2,5 mm de distância da pele do usuário. Assim, não há risco de incômodos ou lesões na pele por conta do possível aquecimento dos diodos laser durante sua energização.

3.5 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 ajustado ao pulso (Figura 3), o carregador de energia com conector USB e o aplicativo de cronômetro padrão de um smartphone. Também se determinou o tempo de carregamento máximo do equipamento com o carregador de energia escolhido.

Inicialmente, carregou-se a bateria do dispositivo até que o LED indicativo apresentasse carga completa. 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 em 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 desligasse 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 se manter ativado. Em seguida, foi anotado o tempo de autonomia registrado no cronômetro. Após, conectou-se o aparelho ao carregador de energia e reiniciou-se a contagem de tempo do cronômetro; dessa maneira, seria possível determinar o tempo de recarga do produto, já que, naquele momento, era certo que a bateria estava sem carga mínima para ligar o equipamento. Observou-se o produto até o instante em que o LED indicador de carga de bateria registrou carga completa. Todos os ciclos de descarga e carga foram repetidos três vezes (Tabela 1).

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 cinco sessões de 30 minutos. O tempo para a recarga mais rápida foi de 41 minutos, inferior ao de autonomia, o que permite a alternância de utilização caso o usuário ou a equipe clínica possua dois aparelhos.

Tabela 1 ►

Ciclos de carregamento e descarregamento.
Fonte: dados da pesquisa

Ação	1º ciclo	2º ciclo	3º ciclo
Descarregamento	2 h 44 min	2 h 47 min	2 h 46 min
Carregamento	41 min	43 min	43 min

3.6 Fundamentos e características do protótipo

Defrontando o protótipo obtido com as premissas listadas na seção 2.3, observou-se que:

- o formato do protótipo testado 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 de comprimento × 55 mm de largura × 25 mm de altura, sendo, assim, mais leve e menor que os similares citados;
- 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;
- o diodo laser utilizado, ADL-66505TL, emite uma luz vermelha, com comprimento de onda de 660 nm ± 10 nm, condizendo com o indicado pela terapia ILIB modificada;
- os resultados demonstraram que a potência luminosa oferecida por cada diodo laser é suficiente para realizar os efeitos de bioestimulação desejados pela técnica ILIB, com potência luminosa superior aos modelos concorrentes de mercado, apresentados na seção 2.3;

- foram dispostos quatro lasers para incidência sobre a artéria radial para a realização do tratamento com ILIB modificada e um laser sobre o ponto PC6 para a execução da laseracupuntura nesse ponto simultaneamente. Dessa maneira, são oferecidas a terapia fotodinâmica e a laseracupuntura ao usuário durante a mesma sessão;
- junto à placa de circuito impresso, na face interna próxima ao pulso, o projeto passou a prever a instalação de uma placa de cobre a fim de dissipar o calor e manter a temperatura em cerca de 25 °C.

O projeto do dispositivo apresenta como grande vantagem sua portabilidade e autonomia, em relação às aplicações existentes (BCMED, 2022; Produtos Hospitalares Online, 2022; Shopping do Fisioterapeuta, 2022; Silva Júnior *et al.*, 2022) e em relação aos benefícios apontados em Azevedo (2017), Gomes e Schapochnik (2017), Isabella *et al.* (2019), Meneguzzo *et al.* (2016), Tomé *et al.* (2020) e Silva Júnior *et al.* (2022). Ainda serão necessários estudos *in vivo* para comprovação da eficácia.

4 Conclusões

Durante a realização deste trabalho, foi possível:

- 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;
- listar as características necessárias para desenvolver o protótipo do aparelho portátil para ILIB.

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 na seção 2.2.

Como trabalhos futuros, os autores indicam que a construção de diversos protótipos e a realização de testes de eficácia com mensuração dos benefícios nos pacientes, seguindo os protocolos dos especialistas na área de laserterapia e utilização segura extravascular do laser, baseados na norma IEC 60825-1:2014 (IEC, 2014), são necessários para a validação do protótipo descrito neste artigo.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

AVIJGAN, M.; HAJZARGARBASHI, S. T.; KAMRAN, A.; AVIJGAN, M. Postherpetic neuralgia: practical experiences return to traditional chinese medicine. **Journal of Acupuncture and Meridian Studies**, v. 10, n. 3, p. 157-164, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jams.2017.02.003>.

AZEVEDO, E. C. **A importância do ponto PC6 (Neiguan) na acupuntura**. 2017. Trabalho De Conclusão de Curso (Formação em Acupuntura) – Faculdade de Tecnologia IBRAMEC – Escola Brasileira de Medicina Chinesa, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://ebramec.edu.br/tcc/importancia-do-ponto-pc6-neiguan-na-acupuntura/>. Acesso em: 26 jun. 2022.

BAGNATO, V. S. Os fundamentos da luz laser. **Física na Escola**, v. 2, n. 2, p. 4-9, 2001. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/apoio/textos/a02.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

BARTELS, K. E. Laser in veterinary medicine: where have we been and where are we going? **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 32, n. 3, p. 495-515, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(02\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(02)00002-5).

BCMED. **Recover mm optics: laserterapia e terapia fotodinâmica**. [São Paulo]: BCMED, 2022. Disponível em: <https://www.bcmec.com.br/recover-mm-optics-laserterapia-e-terapia-fotodinamica-bivolt>. Acesso em: 11 jun. 2022.

COHERENT. **Diode lasers for medical applications**. Santa Clara, CA, EUA: Coherent, 2021. Disponível em: https://www.coherent.com/content/dam/coherent/site/en/resources/white-paper/solutions/medical/COHR_WhitePaper_DiodeLasersForMedicalApplications.pdf. Acesso em: 19 jul. 2022.

DHARMANANDA, S. **Neiguan (Pericardium-6)**. Portland: Institute for Tradicional Medicine, 1998. Disponível em: <http://www.itmonline.org/arts/pc6.htm>. Acesso em: 19 jul. 2022

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. **Distúrbios da Comunicação**, v. 29, n. 3, p. 570-578, 2017. DOI: <https://doi.org/10.23925/2176-2724.2017v29i3p570-578>.

HALEY, D.; PRATT, O. Basic principles of lasers. **Anaesthesia and Intensive Care Medicine**, v. 18, n. 12, p. 648-650, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2017.10.001>.

HARDY, C. R. Powering solid-state lasers. In: DENKER, B.; SHKLOVSKY, E. (ed.). **Handbook of solid-state lasers: materials, systems and applications**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2013. p. 193-226. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857097507.2.193>.

HULICIUS, E.; KUBECEK, V. Semiconductors lasers for medical applications. In: JELINKOVÁ, H. (ed.). **Laser for medical applications: diagnostics, therapy and**

surgery. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2013. p. 222-250. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857097545.2.222>.

IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Safety of laser products** - Part 1: Equipment classification and requirements. Geneva: IEC, 2014. Disponível em: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60825-1%7Bed3.0%7Db.pdf. Acesso em: 11 jun. 2022.

ISABELLA, A. P. J.; SILVA, J. T. C.; SILVA, T.; RODRIGUES, M. F. S. D.; HORLIANA, A. C. R. T.; MOTTA, L. J.; BUSSADORI, S. K.; PAVANI, C.; SILVA, D. F. T. Effect of irradiation with intravascular laser on the hemodynamic variables of hypertensive patients: Study protocol for prospective blinded randomized clinical trial. **Medicine**, v. 98, n. 14, e15111, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000015111>.

JELINKOVA, H. **Lasers for medical applications: diagnostics, therapy and surgery**. Philadelphia: Woodhead Publishing, 2013.

LASER COMPONENTS. **AlGaInP Visible Laser Diode ADL-66505TL**. Viena: Laser Components, [2---?]. Disponível em: http://www.roithner-laser.com/datasheets/ld_div/adl-66505tl.pdf. Acesso em: 26 jun. 2022.

MENEGUZZO, D. T.; FERREIRA, L. S.; CARVALHO, E. M.; NAKASHIMA, C. F. Intravascular laser irradiation of blood. *In*: HAMBLIN, M. R.; SOUSA, M. V. P.; AGRAWAL, T. (ed.). **Handbook of low-level light therapy**. Singapore: Pan Stanford Publishing, 2016. Cap. 46, p. 933-952.

PRODUTOS HOSPITALARES ONLINE. Laser para terapia lasermed com caneta laser 650 NM 12 Watts. **Produtos Hospitalares Online**, 2022. Disponível em: <https://www.produtoshospitalaresonline.com.br/laser-para-terapia-lasermed-com-caneta-laser-650-nm-12-watts-carci>. Acesso em: 6 jun. 2022.

PENG, Q.; JUZENIENE, A.; CHEN, J.; SVAASAND, L. O.; WARLOE, T.; GIERCKSKY, K.-E.; MOAN, J. Lasers in medicine. **Reports on Progress in Physics**, v. 71, n. 5, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1088/0034-4885/71/5/056701>.

SENNAROGLU, A. **Solid-state laser and applications**. Boca Raton: CRC Press, 2007.

SHOPPING DO FISIOTERAPEUTA. **Laserpulse portátil** - Aparelho de laserterapia e reabilitação - Ibramed. Teresina: Shopping do Fisioterapeuta, 2022. Disponível em: <https://www.shoppingdofisioterapeuta.com.br/produto/laserpulse-portatil-aparelho-de-laserterapia-e-reabilitacao-ibramed>. Acesso em: 22 jan. 2024.

SILVA JÚNIOR, F. L.; SILVA, D. N. A.; AZEVEDO, M. L. S.; SILVA, N. T.; ALMEIDA, H. C.; SILVA, R. C. M.; LIMA, K. C.; SILVEIRA, E. J. D.; MARTINS, A. R. L. A. Efficacy of ILIB on periodontal clinical parameters and glycemic control in patients with periodontitis and type II diabetes: randomized clinical trial. **Lasers in Medical Science**, v. 37, n. 3, p. 1945-1952, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10103-021-03455-2>.

SOBOL, E. N.; SHEKHTER, A. B.; BASKOV, A. V. Lasers in orthopaedic surgery. *In*: JELINKOVÁ, H. (ed.). **Laser for medical applications: diagnostics, therapy and**

surgery. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2013. p. 628-658. DOI: <https://doi.org/10.1533/9780857097545.4.628>.

SUNLED. **Part Number: XZMDKVG54W-4**. Walnut, CA, EUA: SunLED, 2020. Disponível em: <https://www.sunledusa.com/products/spec/XZMDKVG54W-4.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

THOMAS, G.; ISAACS, R. Basic principles of lasers. **Anaesthesia and Intensive Care Medicine**, v. 12, n. 12, p. 574-577, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2011.09.013>.

TOMÉ, R. F. F.; SILVA, D. F. B.; SANTOS, C. A. O.; NEVES, G. V.; ROLIM, A. K. A.; GOMES, D. Q. C. ILIB (intravascular laser irradiation of blood) as an adjuvant therapy in the treatment of patients with chronic systemic diseases: an integrative literature review. **Lasers in Medical Science**, v. 35, p. 1899-1907, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10103-020-03100-4>.

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**, v. 58, n. 1, p. 7-14, 2012. DOI: <https://doi.org/10.32635/2176-9745.RBC.2012v58n1.630>.

WEBER, M. H. **The intravenous laser blood irradiation**: introduction of a new therapy. Lauenförde: Medical Center, 2007. Disponível em: <https://www.isla-laser.org/wp-content/uploads/Chapter-Weber-final.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2020.

WURTH ELEKTRONIK. **WL-SMCW SMT mono-color chip LED waterclear**. Waldenburg: Wurth Elektronik, 2019. Disponível em: <https://www.we-online.com/catalog/en/WL-SMCW>. Acesso em: 26 jun. 2022.