

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

SARA MOREIRA MACEDO

**Desenvolvimento de um Equipamento de Fotobiomodulação com Matrizes
de Lasers e LEDs Infravermelhos de Baixa Potência**



Ilha Solteira
2024

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

SARA MOREIRA MACEDO

Desenvolvimento de um Equipamento de Fotobiomodulação com Matrizes de Lasers e LEDs Infravermelhos de Baixa Potência

Dissertação, apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus Ilha Solteira - SP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de Conhecimento: Automação.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Assunção Sanches

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pelo Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

M141d Macedo, Sara Moreira.
Desenvolvimento de um equipamento de fotobiomodulação com matrizes de lasers e LEDs infravermelhos de baixa potência / Sara Moreira Macedo. --Ilha Solteira: [s.n.], 2024
61 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2024

Orientador: Marcelo Augusto Assunção Sanches
Inclui bibliografia

1. Matriz de lasers e leds. 2. Equipamento de fotobiomodulação. 3. Laser e led de baixa potência.

Impacto potencial desta pesquisa

O impacto potencial desta pesquisa é vasto e interdisciplinar. Na medicina, a fotobiomodulação pode ser aplicada para tratar diversas condições, como lesões musculoesqueléticas, neuropatia, feridas crônicas e inflamações. Além disso, na odontologia, é utilizado para tratar doenças periodontais e acelerar a cicatrização pós-operatória. Além disso, essa tecnologia pode ter aplicações em áreas como dermatologia, fisioterapia e medicina esportiva. O desenvolvimento bem-sucedido deste dispositivo poderia ajudar significativamente a melhorar as opções de tratamento disponíveis, melhorar a eficácia do tratamento, reduzir o tempo de recuperação e fornecer benefícios clinicamente relevantes para uma diversidade de condições de saúde.

Potential impact of this research

The potential impact of this research is vast and interdisciplinary. In medicine, photobiomodulation can be applied to treat various conditions such as musculoskeletal injuries, neuropathy, chronic wounds, and inflammation. Additionally, in dentistry, it is used to treat periodontal diseases and accelerate postoperative healing. Furthermore, this technology may have applications in fields such as dermatology, physiotherapy, and sports medicine. The successful development of this device could significantly help improve the available treatment options, enhance treatment efficacy, reduce recovery time, and provide clinically relevant benefits for a variety of health conditions.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO DE FOTOBIMODULAÇÃO COM MATRIZES DE LASERS E LEDS INFRAVERMELHOS DE BAIXA POTÊNCIA

AUTORA: SARA MOREIRA MACEDO

ORIENTADOR: MARCELO AUGUSTO ASSUNÇÃO SANCHES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Engenharia Elétrica, área:
Automação pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCELO AUGUSTO ASSUNÇÃO SANCHES (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. APARECIDO AUGUSTO DE CARVALHO (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. MATEUS FERNANDES RÉU URBAN (Participação Virtual)
Departamento de Ciência e Tecnologia / Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP

Ilha Solteira, 05 de fevereiro de 2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e a minha família, em especial aos meus pais: Keila Moreira da Silva e Francisco Macedo da Silva Filho e ao meu irmão: John Lucas Leonidas Moreira Macedo, por estarem sempre me auxiliando e me motivando a realizar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre me orientando, nos momentos ideais e oportunos para desenvolver qualquer atividade na minha vida.

Agradeço aos meus pais, ao meu irmão, aos familiares e amigos pelas palavras de incentivo, carinho e compreensão em todos os momentos, sempre apoiando minha decisão de aperfeiçoar meus conhecimentos mesmo estando distante.

Grata aos meus orientadores, Prof. Dr. Aparecido Augusto de Carvalho e ao Prof. Dr. Marcelo Augusto Assunção Sanches, por abrir as portas do seu laboratório e de me acolher em sua equipe, os quais estão sendo de grande acréscimo científico na minha vida acadêmica. As suas orientações e suporte nos momentos de dúvida durante toda essa fase foram de grande ajuda, contribuindo de modo significativo para a minha formação como pesquisadora.

Ao professor Dr. Adalberto Vieira Corazza, que, com sua incomparável paciência e dedicação, administrou conceitos que colaboraram para o desenvolvimento e para o término deste estudo.

Aos colegas do LIEB (Laboratório de Instrumentação e Engenharia Biomédica) por não medir esforços para ajudar e apoiar uns aos outros.

Aos professores Prof. Dr. Fernando Yoiti Obana e Prof. Dr. Max Robert Marinho que colaboraram com suas sábias palavras para a evolução da minha didática acadêmica, me colocando no caminho para o mestrado e contribuindo de modo significativo para a minha formação acadêmica.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

“Melhor é o fim das coisas do que o princípio delas”.

Eclesiastes 7:8

RESUMO

Este estudo tem como foco o desenvolvimento de um dispositivo de fotobiomodulação utilizando matrizes de laser e LEDs infravermelhos de baixa potência. Sendo uma terapia não invasiva a fotobiomodulação faz a utilização da luz de baixa intensidade para modular processos biológicos. O dispositivo consiste em um conjunto cuidadosamente organizado de lasers e LEDs infravermelhos para fornecer uma distribuição uniforme de luz sobre a área alvo. A baixa potência dos lasers e LEDs pode penetrar mais profundamente no tecido biológico, atingindo áreas de difícil acesso. Esta propriedade é crítica para a eficácia da fotobiomodulação em diversas aplicações médicas e odontológicas. Por exemplo, na medicina, é usado para tratar lesões músculo-esqueléticas, neuropatia, feridas crônicas e inflamações. Na odontologia, é utilizado para tratar doenças periodontais e acelerar a cicatrização pós-operatória. O dispositivo tem potencial para se tornar uma ferramenta versátil e eficaz em diversas áreas da saúde, fornecendo opções avançadas de tratamento e ajudando a melhorar os resultados clínicos e o bem-estar do paciente.

Palavras-chave: matriz de Lasers e LEDs; equipamento de fotobiomodulação; laser e LED de baixa potência.

ABSTRACT

This study focuses on the development of photobiomodulation devices using arrays of low-power infrared lasers and LEDs. As a non-invasive therapy, photobiomodulation utilizes low-intensity light to modulate biological processes. The device consists of a carefully organized set of lasers and infrared LEDs to provide a uniform distribution of light over the target area. The low power of the lasers and LEDs can penetrate deeper into the biological tissue, reaching areas that are difficult to access. This property is critical for the effectiveness of photobiomodulation in various medical and dental applications. For example, in medicine, it is used to treat musculoskeletal injuries, neuropathy, chronic wounds, and inflammation. In dentistry, it is used to treat periodontal diseases and accelerate post-operative healing. The device has the potential to become a versatile and effective tool in various healthcare fields, providing advanced treatment options and helping to improve clinical outcomes and patient well-being.

Keywords: laser and LED Array; photobiomodulation equipment; low power laser and LED.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Componentes de um LED.....	16
Figura 2 - Distribuição dos LEDs em função dos comprimentos de ondas aplicados.	19
Figura 3 - Duração de cada fase da cicatrização de feridas.....	22
Figura 4 – Modelagem Malha Pequena.....	27
Figura 5 – Impressão Malhas Pequena.....	28
Figura 6 - Modelagem Malha Grande	29
Figura 7 – Impressão Malha Grande	30
Figura 8 – Modelagem Suporte Superior Flexível da Malha Grande	31
Figura 9 – Modelagem Suporte Superior Flexível da Malha Pequena.....	32
Figura 10 – Suporte em PLA da Malha Grande	33
Figura 11 – Suporte Tampa Laterais em PLA.....	34
Figura 12 – Gabarito Para Sensor de Fotodiodo	35
Figura 13 – Laser Infravermelho.....	36
Figura 14 – LED infravermelho	37
Figura 15 – Placa Laser e LED	37
Figura 16 - Cluster de Lasers e LEDs Malha Grande	40
Figura 17 – Cluster Lasers e LEDs Malha Pequena.....	40
Figura 18 – Ophir Photonics VEGA	42
Figura 19 – Processo de Medição – (a) Malha com Gabarito. (b) Malha desligada com o sensor acoplado.	43
Figura 20 – Processo de Aferimento e Ajuste dos Lasers.....	44
Figura 21 – Fonte Central (a) Frente. (b) Traseira. (c) Lateral Direita. (d) Lateral Esquerda.....	49
Figura 22 - Fonte Central (a) Aberta Desligada. (b) Aberta Ligada.	51
Figura 23 – Malha Grande Finalizada (a) Parte Posterior da Malha de Aplicação Grande. (b) Parte Frontal da Malha de Aplicação Grande.....	53
Figura 24 – Malha Pequena Finalizada (a) Malha de Aplicação Pequena. (b) Malha de Aplicação Pequena.	54
Figura 25 – Malha Grande Placebo (a) Malha Grande Placebo Aberta. (b) Malha Placebo Grande Fechada.	55
Figura 26 – Malha Pequena Placebo (a) Malha Placebo Pequena aberta. (b) Malha Placebo Pequena Fechada.	56
Figura 27 – Funcionamento (a) Malhas conectadas ao dispositivo desligadas. (b) Malhas conectadas ao dispositivo ligadas.....	57
Figura 28 – Malhas em Funcionamento (a) Malha grande em contato com a região femoral. (b) Malha pequena em contato com a região do tríceps Sural.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Efeito nos tecidos em função da densidade de potência aplicada.	17
Tabela 2 - Especificações dos materiais PLA e TPU.	25
Tabela 3 – Malha Grande 2	44
Tabela 4 – Mínimo, Média e Máxima de Potência	47

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
He-Ne	<i>Laser Helium–neon laser</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LED	<i>Light Emitir Diodo</i>
LILT	<i>Low-level laser therapy</i>
PCL	<i>policaprolactona</i>
PLA	<i>Ácido Polilático</i>
TPU	<i>Poliuretano Termoplástico</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	13
1.2.	OBJETIVOS	14
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
2.1.	DÍODOS EMISSORES DE LUZ – LEDS	15
2.1.1.	Princípios de Funcionamento do LED	15
2.2.	APLICAÇÕES DOS LEDS NA TERAPIA COM LUZ DE BAIXA INTENSIDADE	17
2.3.	LASER.....	19
2.4.	BASES FÍSICAS DA RADIAÇÃO A LASER.....	20
2.5.	PROCESSO DE REPARO DO TECIDO.....	21
2.6.	FOTOTERAPIA	23
2.7.	IMPRESSÃO 3D	24
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1.	MALHAS EM TPU	27
3.2.	PEÇAS EM PLA	33
3.3.	LASER E LED	35
3.3.1.	Laser	35
3.3.2.	Led Ir	36
3.4.	PLACA LASER LED	37
3.5.	CLUSTER DE LASER E LED	39
3.6.	AJUSTE E VERIFICAÇÃO DA POTÊNCIA DOS DIODOS	41
3.7.	DISPOSITIVO PARA LIGAR AS MALHAS	49
4	RESULTADOS	52
4.1.	MALHAS	52
4.2.	MALHAS PLACEBO	54
4.3.	FONTE CENTRAL	56
5	CONCLUSÃO	58
5.1.	TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO GERAL

Uma das principais funções da pele são proteger o corpo, regular a temperatura e a sensação corporal. Este órgão complexo é composto por duas partes tais como a camada externa chamada de epiderme e a derme sendo a camada intermediária, e logo abaixo desta está a hipoderme, que embora não faça parte da pele, fornece suporte e interação com outros tecidos (Barbosa; Lima, 2019)

A epiderme dentre as suas principais funcionalidades tem a finalidade de criar uma barreira de proteção dos tecidos subjacentes evitando danos externos, protegendo a reserva de nutrientes (Baroli, 2010). Se houver algum tipo de lesão na epiderme o organismo estará sujeito a ficar susceptível infecções, a evolução de úlceras crônicas e a entrada de patógenos (Werner; Grose, 2003; Warriner, 2005).

Quando ocorre uma lesão epitelial, inicia-se uma sequência de eventos que tenta reconstruir a composição anatômica e a função da região afetada. A restauração tecidual é facilitada por eventos celulares que promovem a regeneração tecidual e a cura. Divididos em três fases esses eventos são a fase inflamatória fase de reprodução e fase de remodelação (Carvalho, 2003)

Na busca de novos tratamentos, a fototerapia tem sido particularmente significativa. O método fotobioestimulador de regeneração tecidual da pele, já empregado em procedimentos clínicos ou como componente adicional de outros procedimentos (Caetano *et al.*, 2009; Kaviani *et al.*, 2011; Minatel *et al.*, 2009)

A terapia fotobiomoduladora de baixa potência é uma técnica utilizada para facilitar a reparação de tecidos, explorando seus efeitos biomoduladores. Este método leva em consideração variáveis específicas, tais como comprimento de onda, tempo de tratamento e irradiância, fluência, densidade de energia, potência (Tuner; Hodes, 2010)

A fotobiomodulação, também conhecida como terapia de baixa potência, refere-se ao uso de luz não térmica de baixa intensidade para alterar e regular a função celular. Dois tipos de emissores de luz, como lasers ou LEDs, demonstraram ser fontes eficazes de fotobiomodulação, sugerindo que não apenas o tipo de luz, mas também os parâmetros do tratamento desempenham um papel crucial na determinação do sucesso do tratamento. (Wunsch; Matuschka, 2014)

Dessa forma, nesse estudo buscou-se desenvolver um equipamento de fotobiomodulação com matrizes de Lasers e LEDs infravermelhos de baixa potência.

1.2. OBJETIVOS

Desenvolver um equipamento com Matrizes de Lasers e LED's, ambos Infravermelhos e de Baixa Potência, para ser utilizado em aplicação de terapias de fotobiomodulação.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. DÍODOS EMISSORES DE LUZ – LEDS

Os LEDs foram comercializados no final da década de 1960 e foram inicialmente utilizados como indicadores luminosos em dispositivos eletrônicos devido à sua baixa intensidade luminosa. Na década de 1970, com o avanço da tecnologia a eficiência luminosa aumentava, os LEDs tornaram-se brilhantes o suficiente para serem usados para iluminação. Na década de 1980, à medida que seu uso crescia rapidamente, eles começaram a ser produzidos para diversos fins como aplicações como sistemas de transmissão de fibra óptica e equipamentos médico (Yeh; Chung, 2009) Na última década, diversos pesquisadores ampliaram as pesquisas sobre o uso dos LEDs também como recurso terapêutico em estudos experimentais e clínicos.

A pesquisa sobre a utilização de LEDs como recurso terapêutico avançou na última década. Alguns pesquisadores em estudos experimentais e clínicos vem obtendo resultados notáveis nessa área (Siqueira et al., 2009, Corazza, 2005)

2.1.1. Princípios de Funcionamento do LED

Os diodos constituem uma classe fundamental de dispositivos semicondutores. Um semicondutor é caracterizado por sua capacidade variável de conduzir corrente elétrica. Frequentemente, os semicondutores são fabricados a partir de materiais com baixa condutividade, aos quais são adicionadas impurezas, constituídas por átomos de outros materiais. Esse processo de adição de impurezas é denominado dopagem (Corazza, 2005)

LED (*Light Emitir Diodo*) é um dispositivo optoeletrônico composto por uma junção p-n. A região p é caracterizada pela escassez de elétrons e a região n é caracterizada pela abundância de elétrons. Quando polarizada diretamente, a corrente induzida promove o movimento dos elétrons através da barreira, promovendo sua recombinação com buracos na região pn, emitindo assim luz. Quando re combinado essa emissão de energia se mostra na forma de luz (Bagnato, 2008)

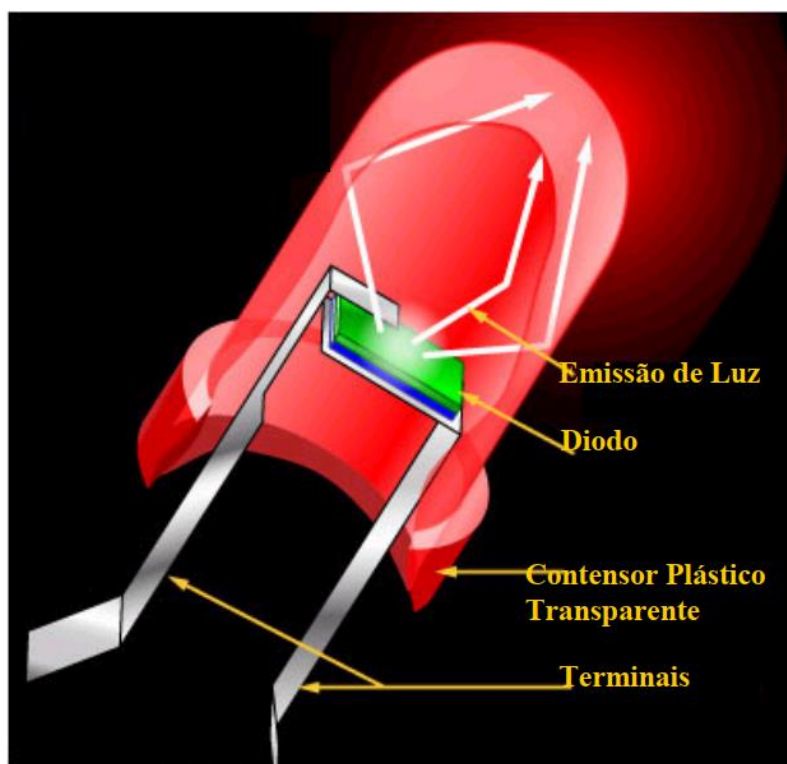
A geração de luz resulta de um fenômeno físico em que os elétrons dentro de um material semicondutor, ao serem excitados por uma corrente elétrica, transicionam para níveis de energia superiores nos átomos. Quando esses elétrons retornam para seus níveis

de energia originais, ocorre a emissão de fótons, manifestando-se como luz visível ou outra forma de radiação eletromagnética (Bueno, 2014)

Quando submetidos a uma corrente elétrica, os LEDs dopados (geralmente contendo compostos como arseneto de gálio ou fosfeto de gálio) emitem radiação óptica no espectro visível, cuja cor pode variar entre o vermelho e o amarelo, dependendo da quantidade de fósforo na composição do Material.

Da mesma forma quando um semicondutor de arsenieto de gálio é dopado, suas propriedades mudam, fazendo com que o LED emita radiação na faixa infravermelha. Da mesma forma, quando o fosfeto de gálio é dopado com nitrogênio, as propriedades do material mudam, fazendo com que a luz seja emitida em uma faixa de comprimento de onda correspondente ao verde ou amarelo (Moreira, 2009). Na figura 1 mostra as características da estrutura de um LED.

Figura 1– Componentes de um LED.



Fonte: (Corazza, 2005)

O processo pelo qual os átomos de um diodo são excitados para produzir luz segue uma teoria estabelecida por Einstein em 1917. Porém, como os LEDs não possuem cavidade óptica, a emissão física da luz é diferente da dos lasers (Karu, 2003) Considerando a ausência de colimação da luz, torna-se imperativo o emprego de um método para colimar a mesma. Nesse contexto, é viável a direção conveniente da luz por meio de ponteiros de acrílico.

2.2. APLICAÇÕES DOS LEDS NA TERAPIA COM LUZ DE BAIXA INTENSIDADE

A luz, que aparece no espectro visível ou infravermelho, com baixo grau de intensidade, é empregada há 40 anos em decorrência do surgimento dos Lasers, o que tem levado à redução da dor, da inflamação e à reparação de feridas. (Hamblin; Demidova, 2006) Recentemente, este conceito foi aprimorado usando fontes alternativas. de luz incoerente, como é o caso dos LEDs (Almeida, 2010).

Este tipo de terapia é chamado de terapia de baixa potência, porque as densidades de potência associadas à fototerapia a laser de baixa potência são inferiores às temperaturas necessárias para causar danos aos tecidos (Hamblin; Demidova, 2006). Na tabela 1 mostra esses efeitos de baixa potência.

Tabela 1 – Efeito nos tecidos em função da densidade de potência aplicada.

Densidade de Potência (W/cm²)	Efeito nos Tecidos Biológicos
<0,1	Fotoestimulação/Fotobiomodulação
0,1-10	Aquecimento
10-100	Fotocoagulação
≤100	Fotovaporização

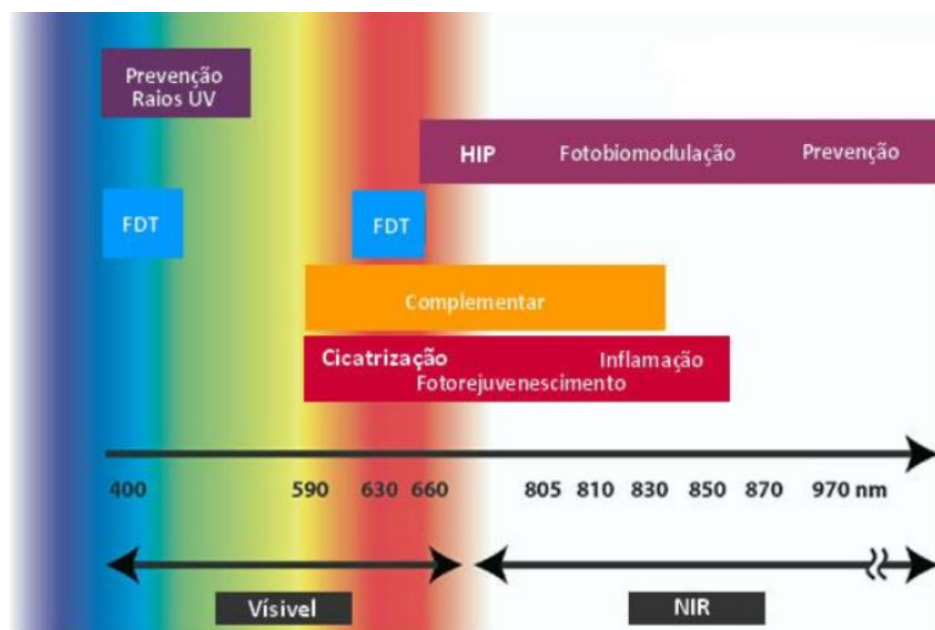
Fonte: (Almeida, 2010)

Inúmeros estudos são realizados, in vitro, em animais e casos clínicos, todos tem evidenciado resultados da terapia com LEDs e em diferentes aplicações:

- Cicatrização de Feridas
Aplicações com LEDs de espectro visível e infravermelhos próximo (NIR) tem mostrado bastante eficiência na aceleração do processo de cicatrização, aumentando a taxa de proliferação de células que são essenciais ao reparo de tecidos, como fibroblastos e células endoteliais. (Siqueira *et al.*, 2009)
- Prevenção de Cicatrizes, como queloides que são caracterizadas pelo aumento imoderado de fibroblastos e o excesso de acúmulo de colágeno; (Barolet, 2008)
- Redução de dor e Reconstrução de Nervos, estimula a multiplicação de neurônios e as células gliais; (Hamblin; Demidova, 2006)
- Inflamação O LED obtém o efeito anti-inflamatório sendo relacionado com a multiplicação de algumas células essas que contrariam os mediadores no processo da inflamação (Barolet, 2008)
- Prevenção contra Hiperpigmentação Pós-Inflamatória (HPI)
A hiperpigmentação pós-inflamatória é comumente indicativa de uma resposta resultante de distúrbios cutâneos, frequentemente relacionada a abordagens terapêuticas específicas (Barolet, 2008)
- Acupuntura, a acupuntura através da aplicação por LEDs vem sendo bastante utilizada nos últimos anos, apresentando sua eficácia na intervenção de diversas patologias relacionadas ao sistema nervoso (Darren Starwynn, 2008)
- Fotobiomodulação
A fotoirradiação a nível celular pode gerar efeitos significativos como a multiplicação celular, aumento de colágeno e o estímulo da angiogênese, como resultado a cicatrização de feridas (Darren Starwynn, 2008) Desse modo a otimização de componentes bioativos regulando as vias celulares ajudam no rejuvenescimento no tratamento de pigmentação e no tratamento de acnes inflamatórias (Barolet, 2008)
- Terapia Fotodinâmica (TFD)
Diferente do Laser o LED tem uma melhor abrangência no comprimento de onda devido ao seu largo feixe de luz. As luzes vermelha e azul em harmonia podem ser utilizadas nos tratamentos de acnes dentre outras irregularidades na pele, reduzindo a foto sensibilidade pós-tratamento e a dor.
- Fotoprevenção, age contra manchas avermelhadas na pele (Eritema) cometidos pelos raios UV-B; (Barolet, 2008)

A intervenção com LEDs auxilia na dilatação de vasos sanguíneos de modo que haja um aumento no fornecimento sanguíneo ao mesmo, tornando-se essencial nas aplicações atrás descritas. As diferentes aplicações do LED necessitam dos comprimentos de onda a serem utilizados. Como ilustra a figura 2.

Figura 2 - Distribuição dos LEDs em função dos comprimentos de ondas aplicados.



Fonte: (Almeida, 2010)

2.3. LASER

A palavra LASER é o acrônimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que significa Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação. É composto por radiação eletromagnética específica e tem como principais características a monocromaticidade, a unidirecionalidade, a coerência espaço-temporal e o alto brilho. Essas propriedades estão relacionadas ao princípio básico de sua produção, denominado fenômeno de emissão estimulada de radiação (Baxter, 1997a).

A descrição de seus fundamentos físicos, demonstrada por Albert Einstein, foi precisa. Contudo, em 1917, a aquisição do primeiro aparelho que produzia esse tipo de radiação só foi realizada no ano de 1960. Nos anos seguintes, a instrumentação e a tecnologia tiveram avanços significativos. A tecnologia a laser levou ao surgimento de uma variedade de fontes de emissão e ganhou vários tipos de radiação - diferentes λ (Baxter, 1997a).

O uso da radiação laser na medicina começou em meados da década de 60. Áreas como oftalmologia, oncologia, dermatologia e cirurgia plástica começaram a explorar as propriedades fototérmicas produzidas pela interação da radiação com o tecido biológico, quando utilizado em altas densidades de potência, oriente seu uso para procedimentos ablativos e fotocoagulação.

O pesquisador húngaro Endre Mester relatou no início da década de 70 a possibilidade de usar radiação laser para induzir fenômenos fotobioquímicos nas células. Desde então, esse fenômeno tem sido cada vez mais estudado e utilizado na prática clínica como ferramenta terapêutica, tendo como uma das finalidades estimular processos de reparação tecidual (Baxter, 1997a; Shields; O'kane, 1997).

Ao contrário dos efeitos prejudiciais deste tipo de radiação conhecidos e explorados até a data, os efeitos desta última modalidade estão relacionados com a sua capacidade de modular a função celular em baixa potência e densidade de energia. Devido ao tipo de interação laser-tecido, esta modalidade de tratamento é denominada TLBI (Tunér; Hodder, 1999)

2.4. BASES FÍSICAS DA RADIAÇÃO A LASER

Segundo Max Planck (Halliday; Resnick, 1988), por meio do princípio da luz, a transferência de energia das ondas eletromagnéticas é realizada por meio de pacotes chamados quanta ou fótons, que sofrem movimento oscilatório no espaço. O nível específico de energia quanta de um fóton determina as propriedades de propagação das ondas eletromagnéticas, e sua energia é medida em elétron-volts (ev) ou joules (J).

O movimento oscilatório dos fótons no espaço determina o seguinte parâmetro:

- Ciclo: menor porção não repetitiva da onda;
- Período (T): tempo para realizar um ciclo, medido em segundos (s);
- Comprimento de Onda (λ): distância percorrida pelo ciclo, medida em metros (m);
- Frequência (F): número de ciclos por segundos, medido em hertz (Hz);
- Velocidade de propagação (c): constante igual a 300.000 Km/s

Os parâmetros λ e F estão totalmente correlacionados a energia fornecida pelo fóton. Portanto qualquer um destes 3 parâmetros pode caracterizar a radiação eletromagnética. Grandes mudanças na carga energética dos fótons determinam a existência de uma ampla quantidade de radiações que foram classificadas dentro do espectro eletromagnético. A faixa espectral da radiação laser frequentemente utilizada na

prática clínica está entre a luz visível e infravermelha (Halliday; Resnick, 1988; Baxter, 1997b)

A emissão do laser possui as características gerais de toda luz: pode ser refletida, refratada e absorvida ao interagir com a matéria.

As características do laser que diferem das lâmpadas incandescentes e das fontes de luz fluorescente são monocromaticidade, coerência e colimação.

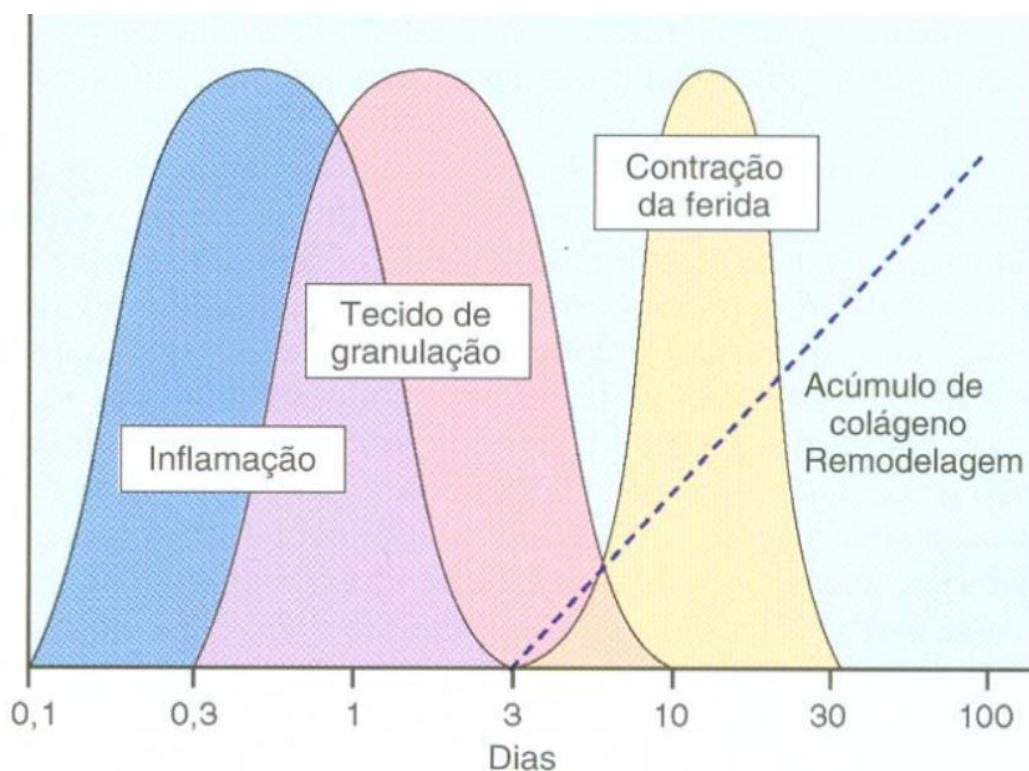
2.5. PROCESSO DE REPARO DO TECIDO

O procedimento do reparo é caracterizado por uma resposta dinâmica que envolve múltiplos fenômenos, incluindo inflamação, crescimento celular e síntese de componentes da matriz, incluindo colágeno, fibras elásticas e reticulares (Pugliese *et al.*, 2003)

A inflamação representa a resposta do tecido vascular ao ataque local. Isto pode destruir, diluir ou imobilizar o agente atacante, desencadeando uma série de processos. Os agentes biológicos que reconstroem ao máximo o tecido danificado estão diretamente relacionados ao processo de reparo que se inicia nos primeiros estágios dos efeitos invasivos. (Collins; Kumar; Cotran, 2000)

Segundo os autores, o processo de reparação consiste em uma resposta orgânica para restaurar danos ou perdas teciduais, seja pela substituição de tecido idêntico ao tecido original caracterizando a regeneração ou pela nova formação de tecido conjuntivo pela troca de tecido para substituir tecido perdido ou destruído para prosseguir com a estrutura do tecido, caracterizando a cicatrização (Lins *et al.*, 2010) Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra as fases da cicatrização.

Figura 3 - Duração de cada fase da cicatrização de feridas



Fonte: Cotran *et al.* (2000).

As primeiras células a surgir nos tecidos em cicatrização são os granulócitos neutrófilos, isso pode ser visto por meio de microscopia eletrônica e fica aparente três horas após a ocorrência da lesão. Durante o processo de cicatrização, sua função principal não é ingerir fibrina, mas sim separá-la. Após alguns dias aparecerão monócitos, que se transformarão em macrófagos aproximadamente no quinto dia. Estas células servem como produtoras primárias de enzimas proteolíticas, mas também são capazes de outras funções, incluindo: a geração e migração de fibroblastos, a estimulação da formação vascular e a prevenção da morte celular. Os fibroblastos também são influenciados pelos macrófagos no que diz respeito à produção de colágeno e à maturação final dessa proteína. (Medeiros; Dantas-Filho, 2016)

A composição das fibras colágenas é um processo contínuo que continua até a conclusão da evolução do reparo enquanto ocorre a remodelagem tecidual. Em relação às fibras elásticas, essas fibras permitem que o tecido se estique à medida que cicatriza sem tensão, sem que ocorra a sua destruição. Longas fibras de colágeno são misturadas com fibras elásticas para limitar a expansão do tecido, evitando que o tecido se dilacere para manter o tecido durante o processo de cicatrização (Pugliese *et al.*, 2003)

2.6. FOTOTERAPIA

A luz tem sido usada como forma de cura desde os primórdios da civilização e é considerada uma das modalidades de cura mais antigas. Por volta de 1400 aC, os índios assumiram a liderança no uso da terapia fotoquímica, utilizando extratos de plantas para aumentar a absorção da luz solar no tratamento do vitiligo. Mais tarde, os egípcios documentaram a cura de doenças de pele através da terapia com luz solar (Calmon, 2006).

No século XX, a fototerapia ganhou maior reconhecimento e passou a ser objeto de pesquisa e aplicação em diversas doenças dermatológicas. Este progresso recebeu um impulso depois de Niels Finsen tendo ganho o Prêmio Nobel pela utilização de luz ultravioleta no tratamento de lúpus. Mais tarde, durante a Primeira Guerra Mundial, a fototerapia teve sucesso no tratamento de úlceras traumáticas. Desde então, a lista de doenças identificadas como responsivas a tais terapias continuou a crescer (Duarte; Buense; Kobata, 2006)

Em 1903, Niels Finsen foi laureado com o Prêmio Nobel por suas contribuições significativas no tratamento do Lúpus Vulgar por meio da utilização de fontes de luz ultravioleta. Em virtude desse marco, alguns autores, como (Rigau, 1997) reconhecem Finsen como um dos pioneiros na foto-medicina moderna.

Em 1905, Albert Einstein propôs a teoria fotoelétrica, e em 1916, consolidou seus princípios no documento intitulado "Emissão Estimulada de Ondas Eletromagnéticas". Esses fundamentos foram essenciais para viabilizar o avanço da tecnologia do laser. (Oliveira, Perez, Souza, Vasconcelos, 2014).

Em 1966, Endre Mester, originário de Budapeste, Hungria, foi pioneiro nas aplicações clínicas do Laser operando em baixa potência. Ele compartilhou os primeiros relatos de casos clínicos sobre bioestimulação com Laser, especificamente no tratamento de úlceras crônicas em membros inferiores, utilizando Laser de rubi e argônio. Os resultados dessas experiências foram publicados em seus primeiros artigos também no mesmo ano (Mester, 1966); ele produziu uma grande quantidade de pesquisas científicas, tanto clínicas como experimentais, tendo o He-Ne Laser (*Helium–neon laser*) como tema principal.

A fototerapia é classificada como de baixa potência ou baixa intensidade com base no seu efeito no corpo, o que significa que não é destrutiva e prejudicial para o organismo. (Veçoso, 1993; Baxter, 1994; Oliveira *et al.*, 2008)

O termo mais adequado e preciso para esse tipo de tratamento é LILT (Low-level laser therapy) "terapia Laser de Baixa Intensidade". A designação de "LASER de baixa potência", frequentemente mencionada em artigos, foi removida devido às capacidades de alta potência dos Lasers no estudo de (Pourzarandian *et al.*, 2005)

A distinção entre os tipos de radiação está relacionada aos comprimentos de onda. Portanto, para determinar em qual parte do espectro uma determinada radiação se encontra, é essencial conhecer o comprimento de onda específico dessa radiação (Almeida-Lopes; Lopes, 2006)

2.7. IMPRESSÃO 3D

As impressoras 3D tornaram-se recentemente uma realidade importante e vem recebendo grande atenção do mercado dispondo de distintas aplicabilidades e a cada ano vem apresentando inéditas potenciais aplicações (Xavier, 2016).

A impressora 3D é sem dúvida inovadora, porém não podemos considerá-las recentes porque estão no mercado desde a década de 80, no mesmo ano em que Hideo Kodama tornou-se um dos primeiros a documentar esse feito, toda via foi Chuck Hull que comercializou sua descoberta a estereolitografia a base de foto polímeros, na qual se realizava um processo de solidificação por camadas, assim ele fundou a empresa 3D, System sendo uma das maiores empresas do ramo de impressoras 3D sendo líderes no mercado (Besko; Bilyk; Sieben, 2017)

Com essa tecnologia o desenvolvimento de projetos em diversas áreas como saúde engenharias e afins vem sendo possível. Nesse trabalho é utilizado dois tipos de filamentos o PLA (Ácido Polilático) e o TPU (Poliuretano Termoplástico) para o desenvolvimento das peças para formar a matriz de Lasers e LEDs. Na tabela 2 demonstra algumas especificações dos materiais utilizados no projeto para a impressão das peças.

Tabela 2 - Especificações dos materiais PLA e TPU.

Material	Temperatura de Extrusão	Propriedades do Material
PLA (Ácido Polilático)	110°C – 120°C	- Material rígido - Uso para diversos tipos de projetos. - Um dos filamentos mais ecológicos, no mercado.
TPU (Poliuretano Termoplástico)	210°C - 230°C	- Material flexível. - Uso para diversos tipos de projetos. - Cria peças com ótima resistência.

Fonte: Adaptado (Greber Filho, 2019).

2.7.1. TPU (POLIURETANO TERMOPLÁSTICO)

Notoriamente, o principal atributo deste polímero para impressão 3D é devido à sua flexibilidade, mas também têm outros benefícios quando em comparação com a borracha convencional (Besko; Bilyk; Sieben, 2017)

O filamento TPU é um material flexível é resistente a graxa e óleo também resistente a abrasão, sua aplicabilidade vai desde dispositivos médicos a artigos esportivos ferramentas elétricas e calçados e afins. Sendo um filamento flexível e emborrachado ele cria peças resistentes ao impacto, a temperatura de extrusão indicada é de 225°C podendo variar de acordo com o clima local, por ser um material mais complexo para se utilizar é indicado que a pessoa que fará o uso tenha um conhecimento básico para evitar problemas com a impressão é indicado que quanto menor o preenchimento do objeto impresso mais flexível ele será.

Esses polímeros surgiram a partir da busca por menor densidade, menor custo de produção, maior produtividade, fácil adição de cor, reciclabilidade e melhor processabilidade em termos de elastômeros (Engenheiro de Materiais, 2016).

Segundo Kucinska-Lipka *et al.* (2017), a TPU se destaca por seus substitutos de polímeros médicos à base de PCL (policaprolactona) e PLA, os TPUs reconhecidos possuem biocompatibilidade e hemocompatibilidade.

Segundo Pinchuk (1994) o material TPU vem sendo aplicado desde o final da década de 1950 na produção de dispositivos médicos.

De acordo com Simmons *et al.* (2004) é atribuído principalmente aos seus atributos, o TPU é benéfico para uso em dispositivos médicos devido à sua flexibilidade, resistência à abrasão, compatibilidade celular e estabilidade biológica.

Vale ressaltar que o material TPU e PLA contém a biocompatibilidade aprovada pela FDA (*Food and Drug Administration*) dos EUA, e por esse motivo são amplamente utilizados para aplicações biomédicas de alto risco. (Oliaei *et al.*, 2014)

Segundo Sculpteo (2016) menciona que devido a flexibilidade e resistência do TPU, esse material é funcional, no qual pode-se replicar órgãos humanos impressos em 3D que assemelhando-se exemplificando as propriedades mecânicas de tal maneira que pareçam reais. Como resultado o cirurgião tem recursos adicionais que podem ser empregados, esses recursos tendem a ser realistas podendo ser utilizados antes de um procedimento cirúrgico.

2.7.2. PLA (ÁCIDO POLILÁTICO)

PLA é um material do tipo rígido, contudo quebradiço, é inodoro não exalando cheiro, ele possui uma baixa distorção, sendo um dos filamentos mais ecológicos que o mercado tem. Feito a partir de recursos renováveis como o amido de milho o filamento tem a utilidade para protótipos, aplicações com baixo esforço mecânico e brinquedos, o PLA é frequentemente usado para o uso de recipientes de alimentos, implantes médicos biodegradáveis como suturas, e como embalagens.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento deste projeto, detalhando a construção das peças e demonstrado a manufatura do projeto. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da UFMS (CAAE é 71042323.7.0000.0021).

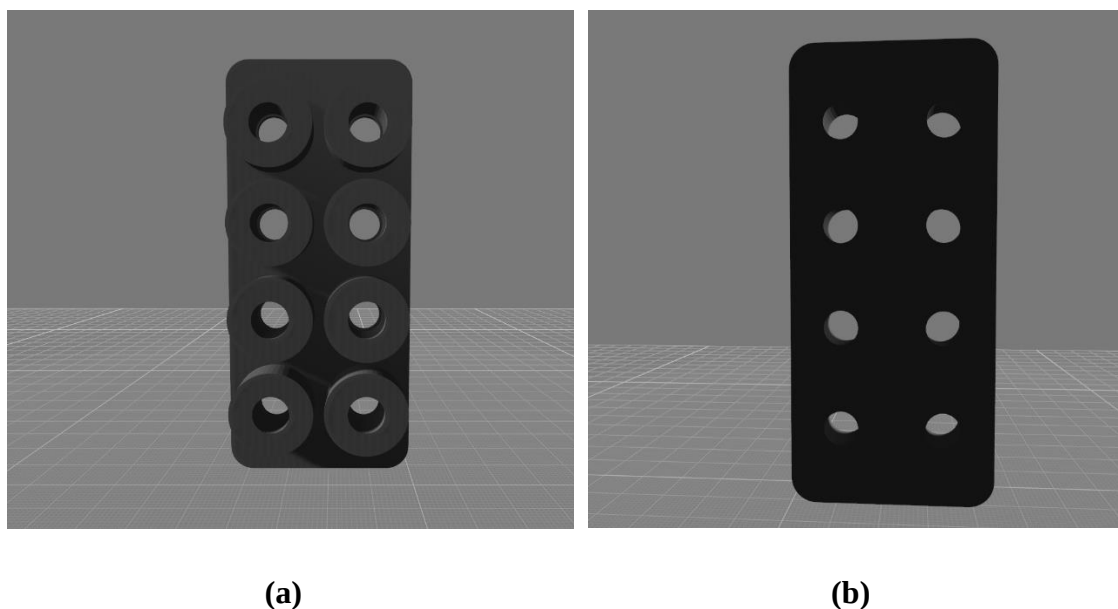
3.1. MALHAS EM TPU

A malha aqui denominada, também podem ser encontradas em outros trabalhos como matriz ou cluster, pois trata-se de um conjunto de Lasers e LEDs dispostos em formato de linha e coluna.

Com a intenção de aplicar fotobiomodulação em duas regiões das pernas, foram desenvolvidas quatro malhas, sendo 2 maiores para serem utilizadas na região femoral (“na coxa”) e 2 menores para serem na região do gastrocnemius (“panturrilha”).

Na figura 4 é apresentado o projeto em 3D da malha pequena que foi criada para a dispersão dos Lasers e LEDs. Na figura 4(a) pode-se observar a parte superior da malha, por onde os lasers são encaixados, na figura 4(b) a parte inferior. A malha tem o tamanho de 9X4cm.

Figura 4 – Modelagem Malha Pequena



Fonte: Autor.

Na figura 5 apresenta-se as malhas pequenas já impressas e em material TPU.

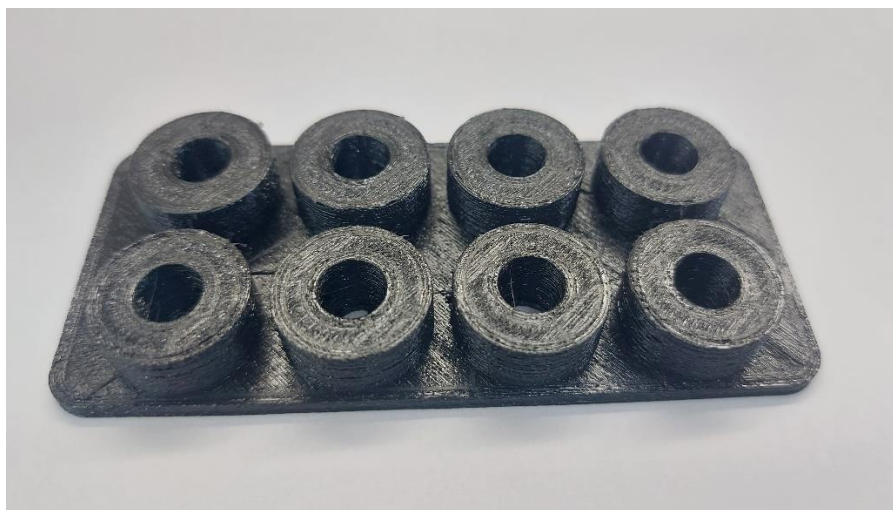
Figura 5 – Impressão Malhas Pequena



(a)



(b)

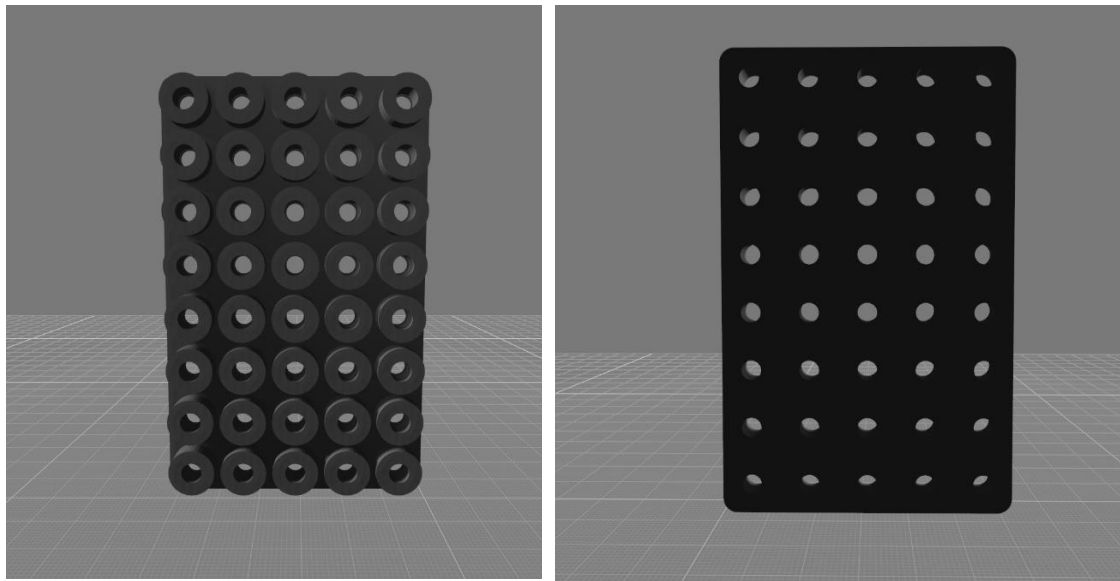


(c)

Fonte: Autor.

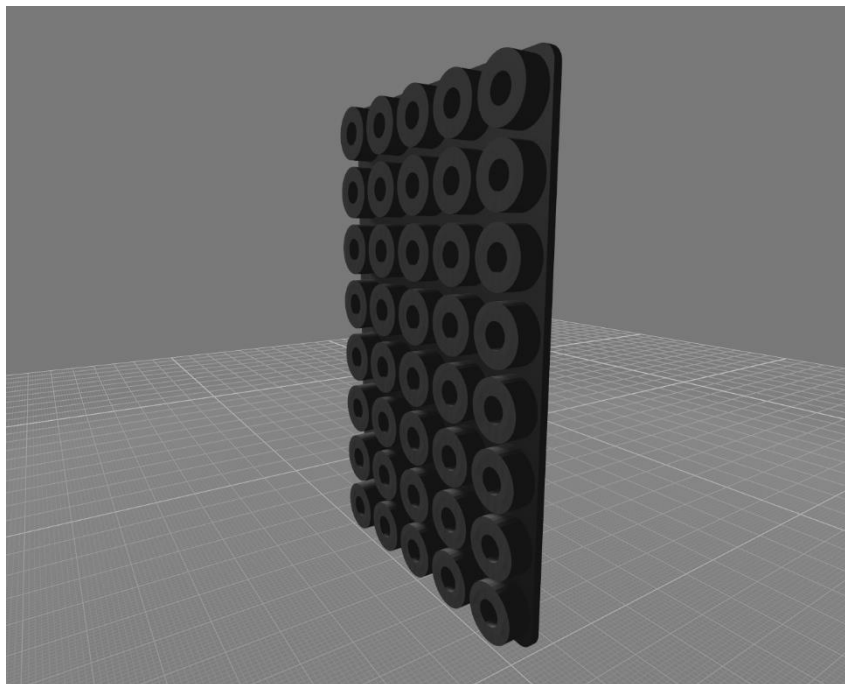
Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**6 demonstra uma das duas malhas em 3D que foi criada para a dispersão dos Lasers e LEDs essa malha tem um tamanho de 16X10cm. Na figura 6(a) pode-se observar a parte superior da malha, por onde os lasers são encaixados, na figura 6(b) a parte inferior, onde os diodos estarão em contato com a pele e a figura 6(c) que uma visão isométrica da malha.

Figura 6 - Modelagem Malha Grande



(a)

(b)



(c)

Fonte: Autor.

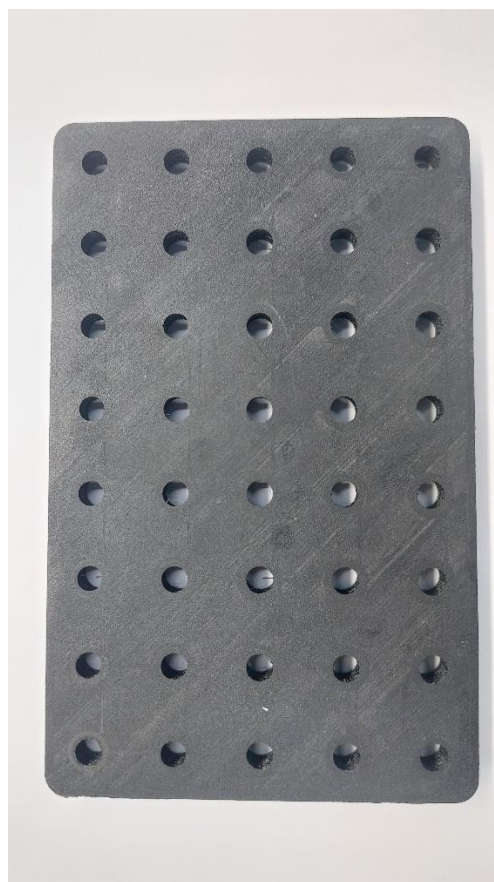
Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.7** apresenta as malhas grandes já impressas e em material TPU, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.7** (a) mostra a parte traseira e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.7** (b) mostra a

parte frontal e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**7 (c) é um complemento para uma melhor visualização.

Figura 7 – Impressão Malha Grande



(a)



(b)

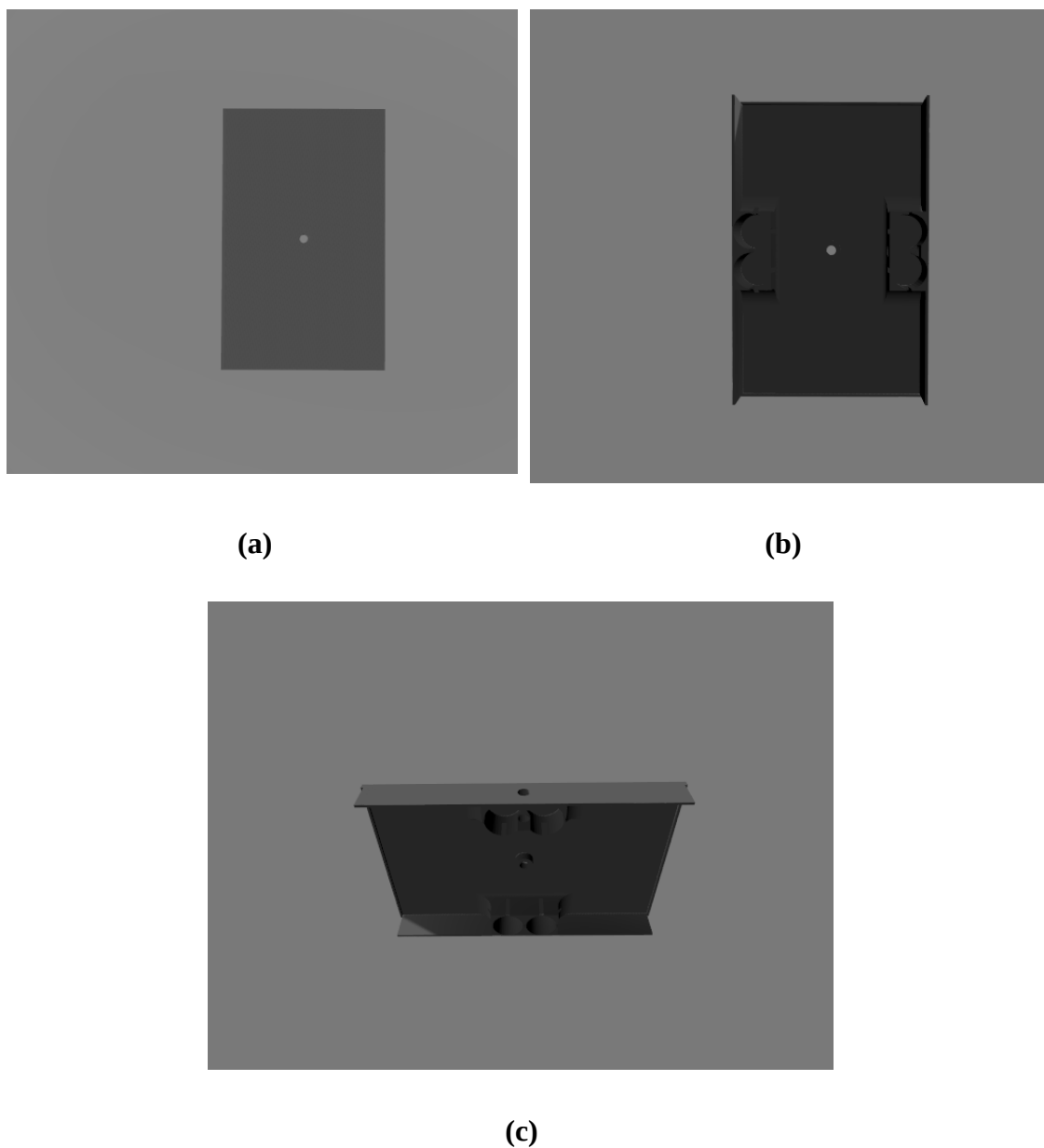


(c)

Fonte: Autor.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.8** demonstra o suporte superior flexível da malha grande em 3D que foi criada para fechar a malha para evitar que o circuito venha ficar exposto, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.8** (a) mostra a parte frontal do suporte a imagem **Erro! Fonte de referência não encontrada.8** (b) a parte interna que se fixará com a malha para fecha-la é e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.8** (c) é um complemento para uma melhor visualização.

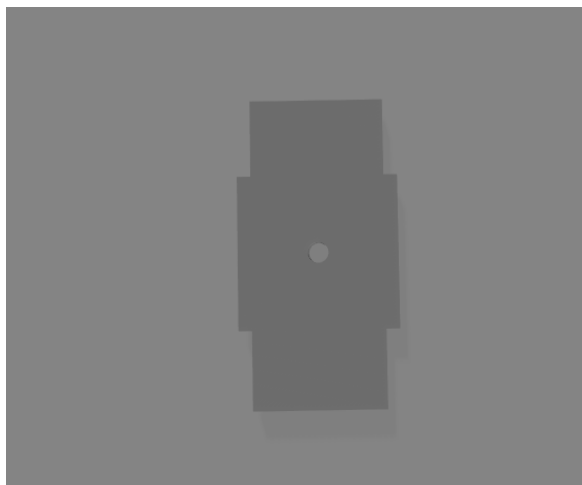
Figura 8 – Modelagem Suporte Superior Flexível da Malha Grande



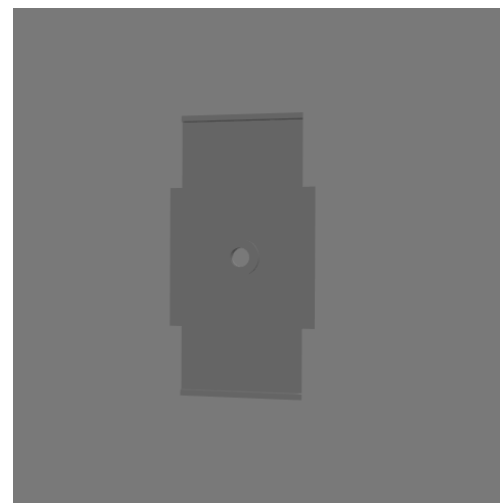
Fonte: Autor.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.9** demonstra o suporte superior flexível da malha pequena em 3D que foi criada para fechar a malha para evitar que o circuito venha ficar exposto, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.9** (a) mostra a parte externa do suporte e a imagem **Erro! Fonte de referência não encontrada.9** (b) a parte interna que se fixará com a malha para fechá-la e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.9** (c) é um complemento para uma melhor visualização.

Figura 9 – Modelagem Suporte Superior Flexível da Malha Pequena



(a)



(b)



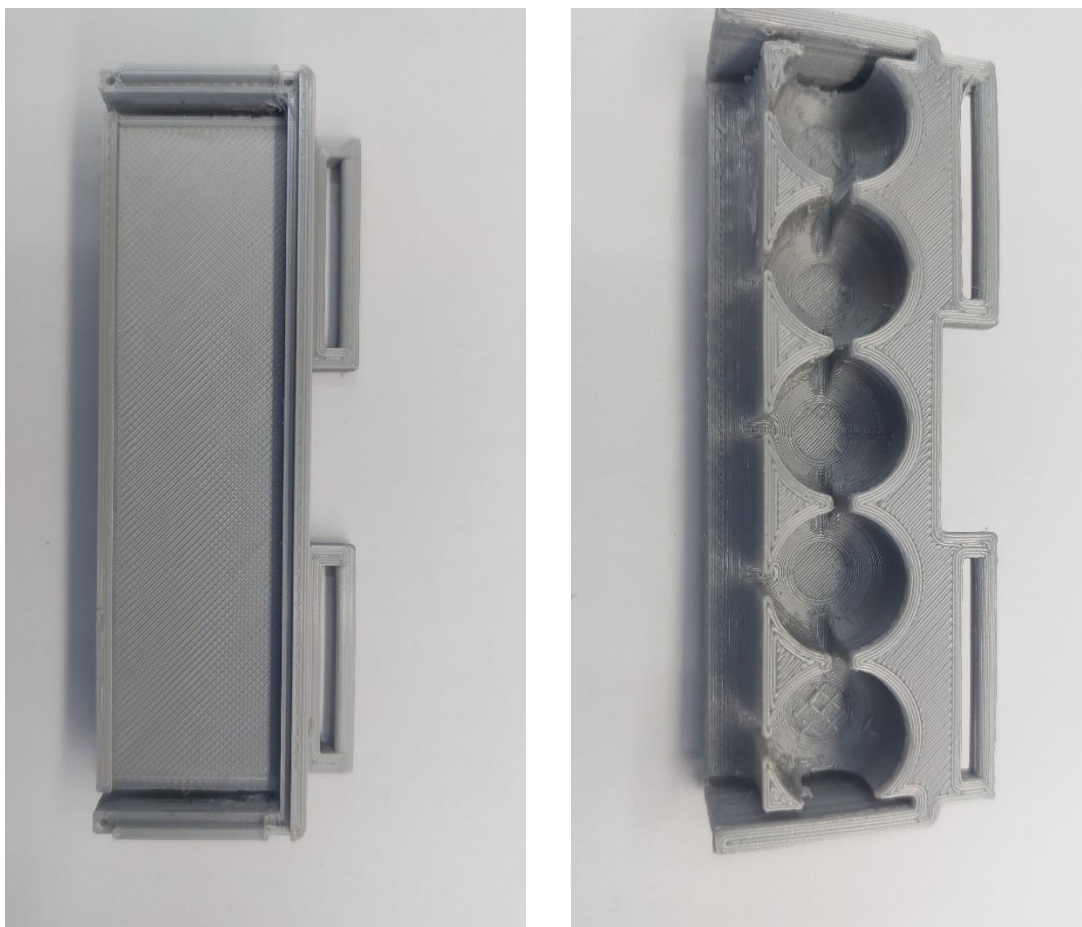
(c)

Fonte: Autor.

3.2. PEÇAS EM PLA

Todas as Peças feitas em PLA são peças de suporte para a malha essencialmente importantes. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Mostra a peça de suporte para o velcro, essa peça fica unida a malha grande para que venha passar o velcro nos cantos para que o equipamento venha ficar seguro no corpo do paciente que irá utilizá-lo, também é um suporte para a tampa em TPU que virá acima dela. Na figura 10(a) é possível ver a parte de cima do suporte onde será reunida com a tampa em TPU. Na figura 10(b) mostra a parte interna onde será fixada com a malha.

Figura 10 – Suporte em PLA da Malha Grande



(a)

(b)

Fonte: Autor.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.1** mostra as tampas laterais que serão utilizadas para fechar a malha a imagem **Erro! Fonte de referência não encontrada.1** (a) demonstra a tampa para o suporte do velcro e da tampa em TPU da malha grande, já a imagem **Erro! Fonte de referência não encontrada.1** (b) mostra a tampa para o suporte do velcro e da pequena tampa em TPU para a malha pequena.

Figura 11 – Suporte Tampa Laterais em PLA.



(a)

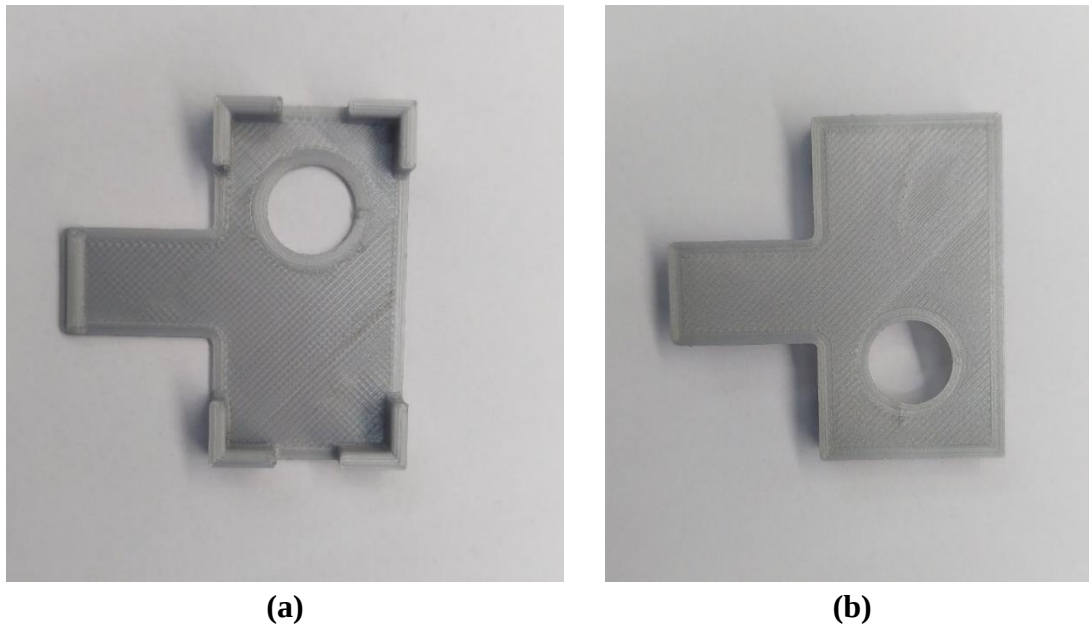


(b)

Fonte: Autor.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.2** demonstra uma das peças que foram feitas em PLA essa peça é chamada de gabarito pois ela é um suporte para o sensor que mensura a potência dos Lasers e LED.

Figura 12 – Gabarito Para Sensor de Fotodiodo



Fonte: Autor.

3.3. LASER E LED

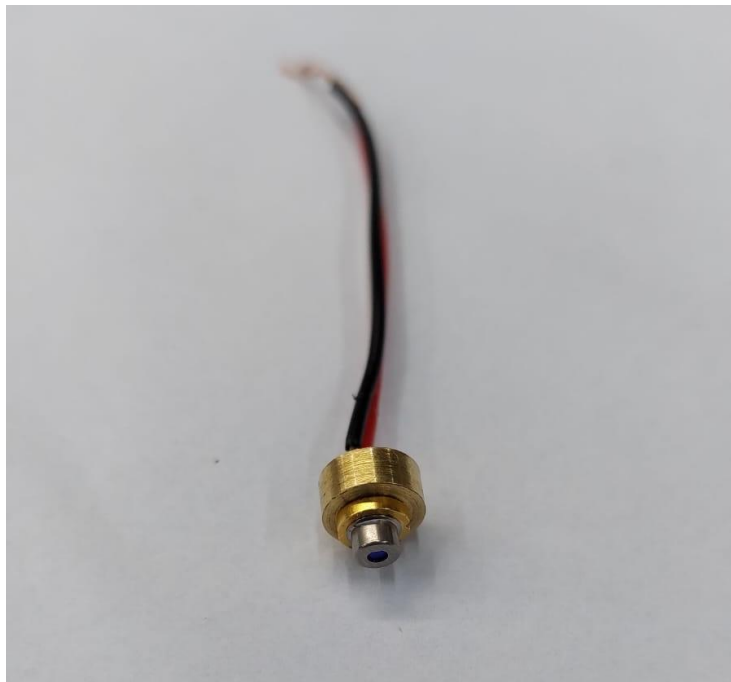
Os diodos usados para o dispositivo foram: Laser E LED ambos os infravermelhos.

3.3.1. Laser

Infrared de baixa potência com um comprimento de onda de 808nm e potência de até 200mW, porém a potência a ser utilizada será de 100mW, com uma dimensão de 5,6mm, com tamanho miniaturizado tem um baixo consumo de energia e utiliza baixa tensão e corrente.

A aplicação desse diodo requer requisitos técnicos adequados pela razão de cada tipo de Laser gerar fótons com diferentes frequências possuindo um comprimento de onda associado, desse modo a energia é absorvida de diferentes formas pelos diversos tipos de tecido do corpo, possibilitando diversos tratamentos e diagnósticos. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**³ apresenta-se a imagem de um dos Lasers usados, revestido com um dissipador, também chamado de difusor.

Figura 13 – Laser Infrared.



Fonte: Autor.

3.3.2. Led Ir

LED terapêutico Infravermelho de baixa potência com comprimento de onda de 830nm e com potência de até 30mW. Tem um baixo consumo de energia, utiliza baixa tensão e corrente. A aplicação desse diodo pode ser utilizada em todos os tipos de pele, é utilizado em tratamentos na área da estética pois tem ação calmante para a pele, drenante, desintoxicante prevenindo a inflamação e estimulando a síntese de colágeno. Na figura 14 apresenta a imagem de um LED. A cor amarela externa é apenas do invólucro, pois o LED é infravermelho e não é possível ver a luz a olho nu, ou seja, não emite luz visível ao olho humano.

Figura 14 – LED infravermelho

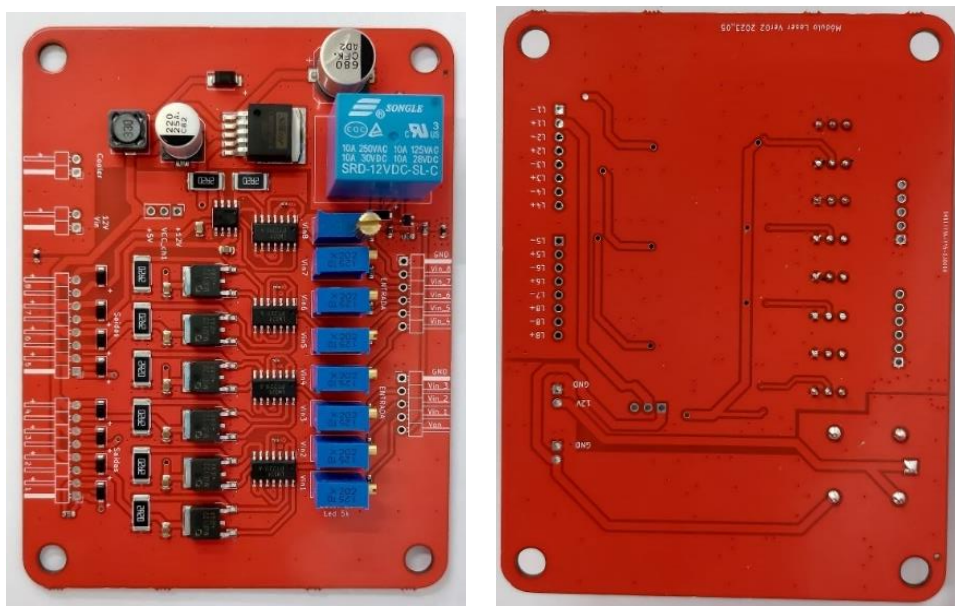


Fonte: Autor.

3.4. PLACA LASER LED

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**5 é apresentada a placa para Laser e LED.

Figura 15 – Placa Laser e LED



(a)

(b)

Fonte: Autor.

A placa foi confeccionada para atender os canais de Laser e LED, é uma placa composta por uma fonte de tensão regulada em 12V, amplificadores operacionais formando buffer e uma fonte de conversão tensão corrente, para garantir a corrente ideal em cada circuito, seja ao laser ou ao LED. O ajuste de cada canal é independente e feito por meio de potenciômetros.

É importante ressaltar que cada diodo é alimentado por seus respectivos canais, todos os canais são regulados para obter uma corrente de 143mA, pois cada um dos diodos necessita de uma corrente específica para gerar potência. No contexto da malha grande, a qual constitui um arranjo complexo, notamos a presença de 16 lasers, cada um caracterizado por uma potência aproximada de 100 miliwatts (mW).

Ao dos componentes da malha grande, constata-se que os 16 lasers, cada um com uma potência nominal de 100 mW, resultam em uma potência total de 1,6 watts (W) após a conversão. Simultaneamente, a presença intercalada de 24 LEDs, cada um com uma potência de 30 mW, contribui com um total de 720 mW, convertidos para 0,72 W. Somando as potências dos lasers e dos LEDs, obtém-se uma potência total de 2,32 W nessa configuração específica da malha.

A aplicação desse mesmo procedimento consta para a malha pequena que composta por 4 lasers e 4 LEDs, obtém um valor total de 0,52 W. Essa avaliação das potências das malhas ressaltam a importância da consideração individual de cada componente, contribuindo para uma compreensão abrangente do consumo energético do sistema como um todo.

Com tudo por se tratar de uma malha com um agrupamento de muitos diodos não foi possível nesse momento desenvolver uma placa com um canal para cada um dos 96 diodos no total.

Desse modo uma placa contém 8 canais cada, para as duas malhas pequenas foram utilizadas apenas uma placa, somando um total de 16 diodos, já para montar as duas malhas grandes foram utilizadas duas placas, somando um total de 80 diodos, cada malha grande utiliza uma placa, ocupando todos os oito canais. Dessa forma para uma malha grande foram utilizados 4 canais que disponha de 4 Lasers em série, totalizando 16 diodos e o restante dos 4 canais foram usados para compor os 8 LEDs em série, totalizando 24 diodos.

Para as duas malhas pequenas foi utilizada apenas uma placa, foram utilizados os 4 canais da placa para 8 Lasers em série no total e os 4 canais restantes para 8 LEDs em serie. Seria interessante que cada Laser ter o seu próprio, canal, porém diante dessa inviabilidade foram colocados em série.

- Vantagem; menos canais para suprir uma grande quantidade de diodos.
- Desvantagem; cada Laser pode ter uma potência diferenciada justamente pela particularidade de cada um.

Contudo por se tratar de um cluster de diodos e no final ser utilizada apenas a potência total, o importante é que após a malha estar montada é medir cada um deles para depois somar o conjunto como um todo, desse modo não acaba sendo um problema muito grande em pôr os diodos em série.

Para minimizar a diferença que pode ocorrer com a mesma corrente entres os Lasers, a metodologia utilizada será: com a malha montada cada um dos Lasers serão alimentados com uma corrente de 143mA, desse modo terá uma espera de no máximo 2 minutos, pois a partir desse tempo o Laser tem uma certa estabilização e após esse tempo determinado será ajustado para que tenha cada Laser tenha uma potência 100mW.

3.5. CLUSTER DE LASER E LED

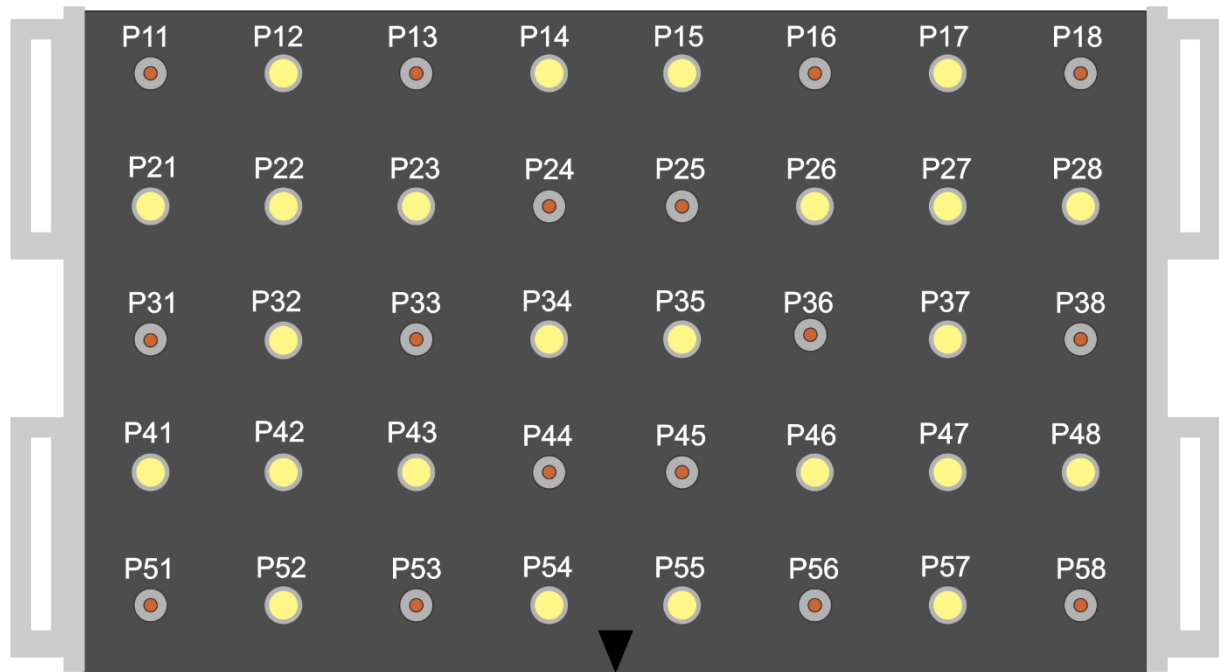
O arranjo do Cluster de Laser e LED foi projetado em formato de matriz, com linhas e colunas, visando otimizar a distribuição dos diodos utilizados. Essa escolha estrutural foi estrategicamente fundamentada na quantidade de diodos empregados, objetivando um alcance mais eficiente nas áreas de aplicação, como o tríceps Sural e a região femoral. A fabricação em TPU, material flexível, proporcionou um alcance aprimorado na região alvo.

A representação esquemática na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**6 ilustra a disposição dos Lasers e LEDs na malha, composta por 16 Lasers e 24 LEDs, totalizando 40 pontos, cada um com um espaçamento de 2 cm, com as posições denotadas para facilitar a verificação.

A disposição de Lasers e LEDs na composição do equipamento foi motivada pela insuficiência de Lasers isolados para a construção do dispositivo, tornando os LEDs uma adição complementar essencial para esta configuração específica. Este arranjo oferece uma abordagem eficaz e inovadora para atender às demandas terapêuticas, promovendo

uma distribuição uniforme e eficiente da fotobiomodulação nas áreas de aplicação designadas.

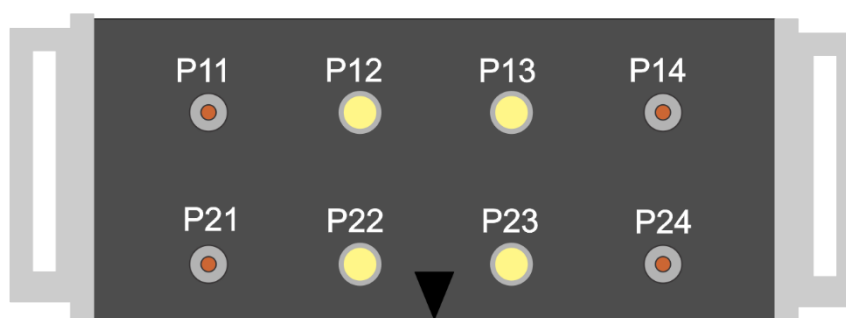
Figura 16 - Cluster de Lasers e LEDs Malha Grande



Fonte: Autor.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**7 demonstra uma imagem meramente ilustrativa de como a composição dos Lasers e LEDs, a manta é composto de 4 Lasers e 4 LEDs com um total de 8 pontos, com distanciamento de 2 cm entre eles, e todos com a posição denotada como demonstrado na imagem. Como se pode observar a cor dos Lasers são os pontos vermelhos e os amarelos são os LEDs.

Figura 17 – Cluster Lasers e LEDs Malha Pequena.



Fonte: Autor.

3.6. AJUSTE E VERIFICAÇÃO DA POTÊNCIA DOS DIODOS

Para realizar a calibração e avaliação da potência de cada Laser e LED, empregou-se um dispositivo dedicado à mensuração de energia. O equipamento utilizado para essa finalidade foi o medidor de potência e contador de energia VEGA, da marca Ophir Photonics, notável por seu sensor térmico de fotodiodos, o qual desempenha um papel crucial na medição precisa do comprimento de onda de cada diodo específico. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**8 ilustra o equipamento utilizado para a condução dessas medições.

Figura 18 – Ophir Photonics VEGA



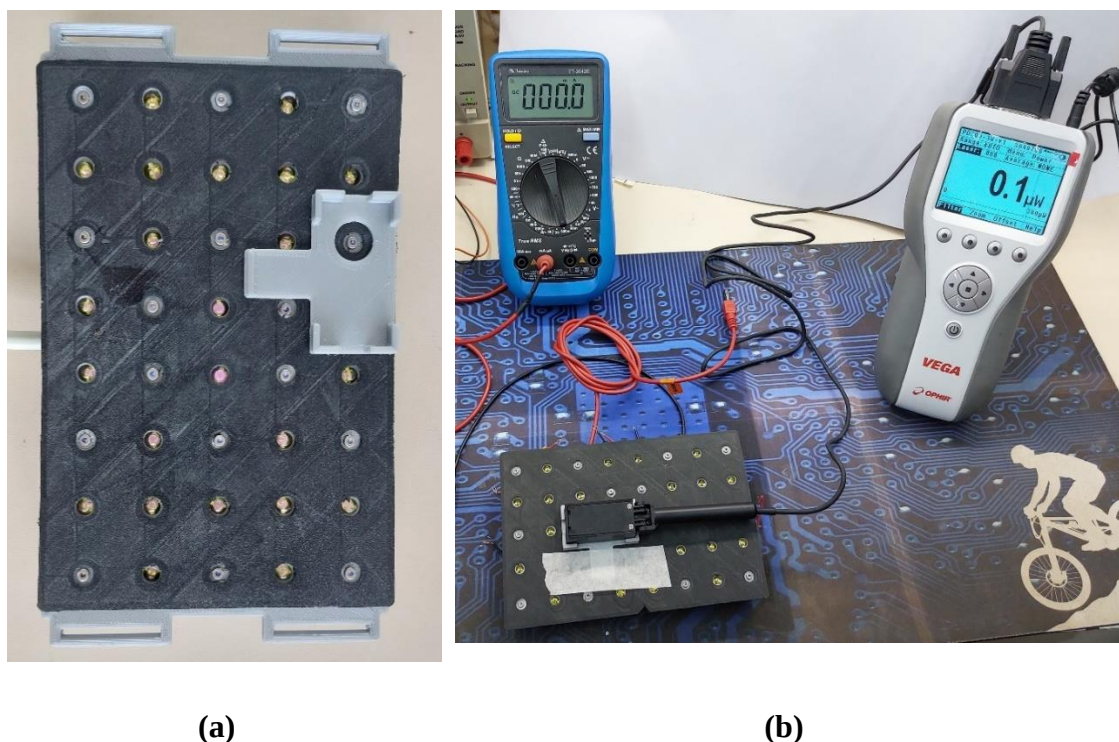
Fonte: Autor.

Para realizar a quantificação da emissão dos Lasers e LEDs, empregou-se um gabarito tridimensional confeccionado em PLA, projetado para posicionar o sensor de fotodiodo de forma fixa. Este procedimento facilitou a navegação no dispositivo, permitindo a seleção do comprimento de onda desejado para o Laser ou LED. No caso dos diodos utilizados, os comprimentos de onda para mensuração foram de 808nm para o Laser e 830nm para o LED.

Durante a alimentação da malha, esses diodos eram energizados, e suas potências eram exibidas no equipamento. Quando o circuito do diodo não estava ligado, a ausência

de potência correspondente era indicada no visor do equipamento. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**9 ilustra (a) a malha desligada com o gabarito e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**9 (b) a malha desligada, porém com o sensor já acoplado e pronto para realizar a mensuração.

Figura 19 – Processo de Medição – (a) Malha com Gabarito. (b) Malha desligada com o sensor acoplado.



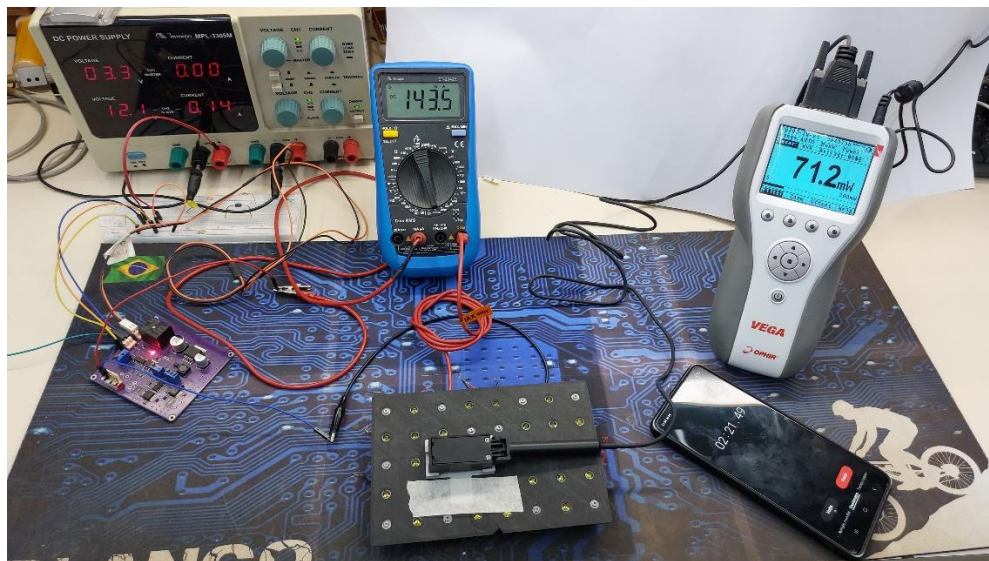
Fonte: Autor.

Esse método proporcionou uma abordagem precisa e controlada para avaliar a potência de emissão dos diodos, garantindo uma coleta de dados confiável e reproduzível.

Na representação da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**20, observa-se o procedimento de ajuste de potência para cada Laser na malha. Cada canal de Laser é conectado a um amperímetro que está em série para verificar se a corrente que está passando é a certa, e a placa de Laser e LED recebe uma corrente de 143mA, sendo regulada pelo potenciômetro na placa, resultando em uma potência final dos diodos de 100mW. A figura ilustra o processo de ajuste envolvendo a Placa Laser e LED, o amperímetro e o equipamento medidor de potência VEGA.

O procedimento de verificação e ajuste de potência é aplicado em ambas as malhas principais para avaliar o comportamento de potência de cada Laser e LED. Este método sistemático proporciona uma abordagem científica para verificar os dispositivos.

Figura 20 – Processo de Aferimento e Ajuste dos Lasers



Fonte: Autor.

Após os ajustes nas malhas, foram realizados testes para avaliar o comportamento e o desempenho de cada Laser, iniciando com a malha grande 2. Os testes foram conduzidos individualmente para cada Laser em cada canal, estabelecendo um tempo de 5 minutos para cada medição e intervalos que permitiram a obtenção de 16 medições, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Malha Grande 2

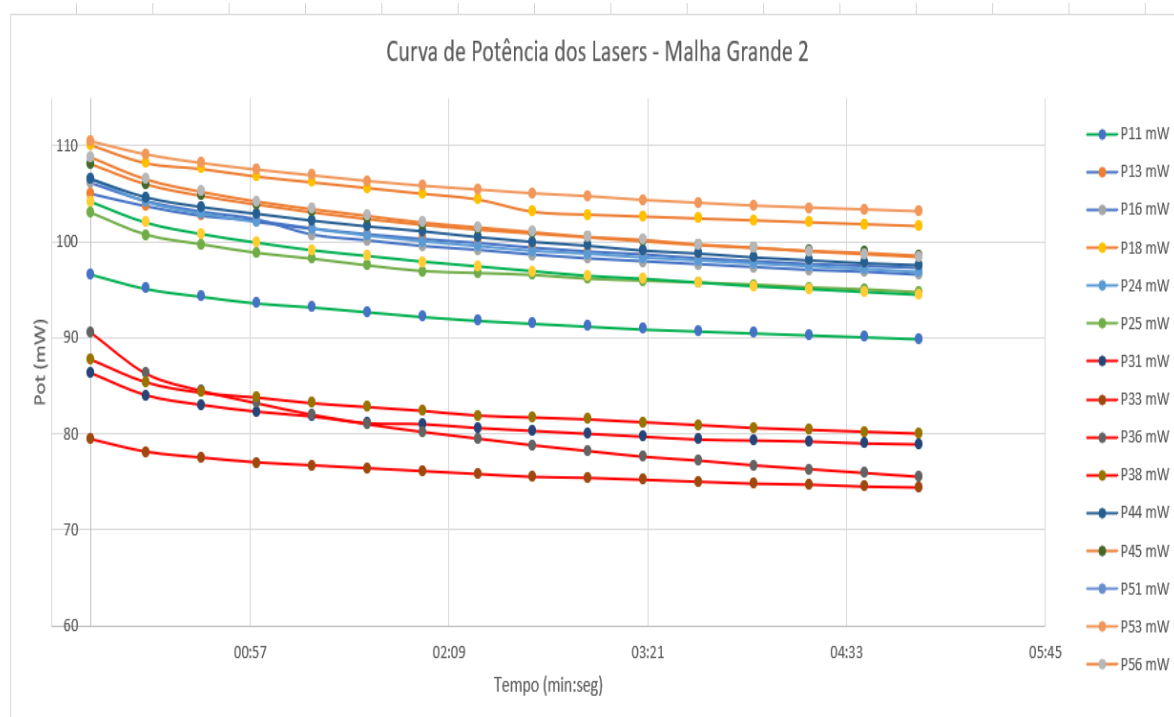
LASER																
MALHA GRADE 2																
TEMPO	P11	P13	P16	P18	P24	P25	P31	P33	P36	P38	P44	P45	P51	P53	P56	P58
min:seg	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW	mW
00:00	97	105	106	110	107	103	86	79	91	88	107	108		111	109	104
00:20	95	104	104	108	104	101	84	78	86	85	105	106		109	107	102
00:40	94	103	103	108	103	100	83	78	85	84	104	105		108	105	101
01:00	94	102	102	107	102	99	82	77	83	84	103	104		108	104	100
01:20	93	101	101	106	101	98	82	77	82	83	102	103		107	103	99
01:40	93	101	100	106	101	98	81	76	81	83	102	102		106	103	99
02:00	92	100	100	105	100	97	81	76	80	82	101	102		106	102	98
02:20	92	100	99	104	100	97	81	76	80	82	101	101		105	102	97
02:40	92	99	99	103	99	97	80	76	79	82	100	101		105	101	97
03:00	91	99	98	103	99	96	80	75	78	82	100	101		105	101	96
03:20	91	99	98	103	98	96	80	75	78	81	99	100		104	100	96
03:40	91	98	98	102	98	96	79	75	77	81	99	100		104	100	96
04:00	91	98	97	102	98	96	79	75	77	81	98	99		104	99	95
04:20	90	98	97	102	97	95	79	75	76	80	98	99		104	99	95
04:40	90	98	97	102	97	95	79	75	76	80	98	99		103	99	95
05:00	90	97	97	102	97	95	79	74	76	80	98	99		103	98	94
TEMPO	P11	P13	P16	P18	P24	P25	P31	P33	P36	P38	P44	P45	P51	P53	P56	P58

Obs: Nesta malha foi utilizada pasta térmica entre laser e difusor de alguns lasers e pasta térmica e cola instantânea em outros.

Fonte: Autor.

A partir da tabela plotou-se vários gráficos a fim de se obter informações sobre os comportamentos de cada diodo, conforme essas informações foram obtidos resultados das quais foram uteis para a pesquisa. No gráfico1 apresenta, os resultados obtidos para comparar a queda e a estabilização da potência de cada Laser.

Gráfico 1 – Curva de Potência Malha Grande



Fonte: Autor.

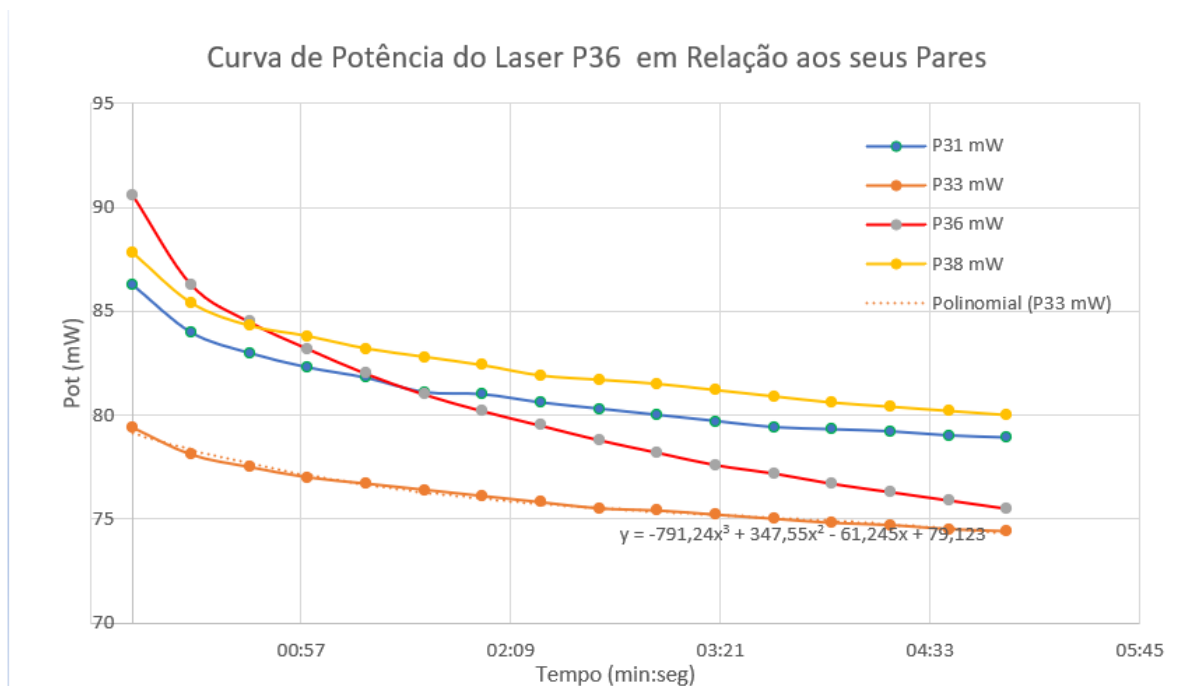
Desse modo foram escolhidos dois Lasers com posições diferentes e feitos dois gráficos com os valores adquiridos.

Baseado na tabela e no gráfico, foi possível separar os diodos em conjuntos, pois como seriam utilizados 4 canais para alimentar 16 Lasers, era necessário colocar em série um conjunto de 4 Lasers.

Formou-se grupos com o 4 Lasers que tivessem potência semelhante com a corrente que foi utilizada, pois desta forma, sempre que fosse ajustados os conjuntos, todos se modificariam juntos e ficariam sempre com potências próximas. Os grupos escolhidos foram destacados por cores, tanto na tabela como no gráfico.

Como evidenciado no gráfico 2, mediante um exame detalhado, o único diodo que exibe um comportamento distinto dos demais é identificado como o localizado na posição P36.

Gráfico 2 – Curva de Potência P36



Fonte: Autor.

Com o objetivo de proporcionar uma visualização mais clara da queda de potência foi gerado a Tabela 4. Essa tabela oferece uma representação visual do comportamento dos percentuais de queda, incluindo as variações mínimas, médias e máximas.

Tabela 4 – Mínimo, Média e Máxima de Potência

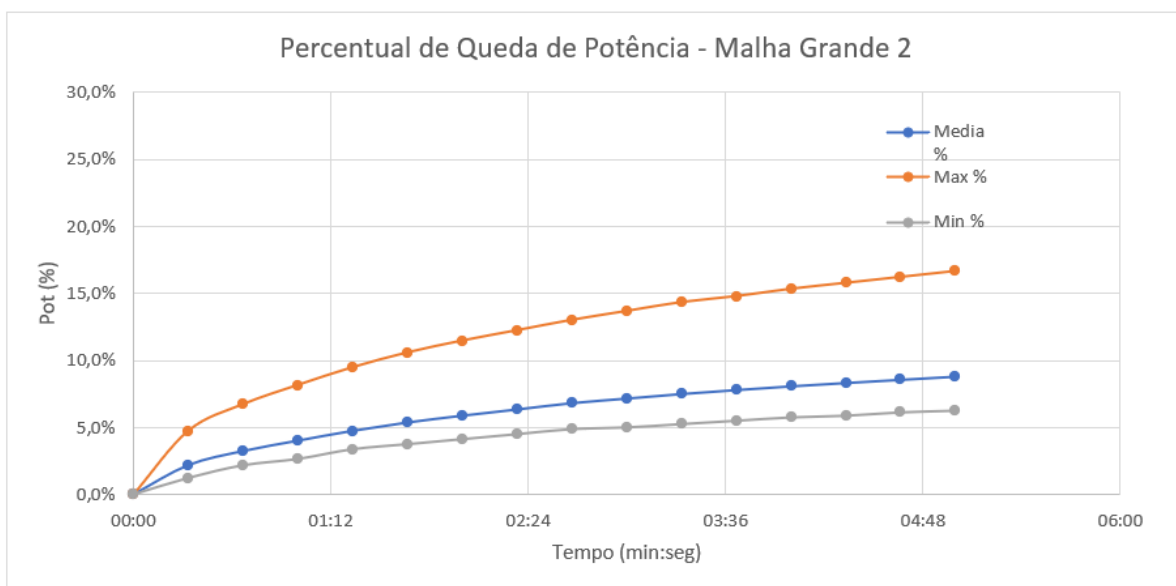
TEMPO	Media	Max	Min
min:seg	%	%	%
00:00	0,0%	0,0%	0,0%
00:20	2,2%	4,7%	1,2%
00:40	3,2%	6,7%	2,2%
01:00	4,0%	8,2%	2,7%
01:20	4,8%	9,5%	3,4%
01:40	5,4%	10,6%	3,8%
02:00	5,9%	11,5%	4,2%
02:20	6,4%	12,3%	4,5%
02:40	6,8%	13,0%	4,9%
03:00	7,2%	13,7%	5,0%
03:20	7,5%	14,3%	5,3%
03:40	7,8%	14,8%	5,5%
04:00	8,1%	15,3%	5,8%
04:20	8,3%	15,8%	5,9%
04:40	8,6%	16,2%	6,2%
05:00	8,8%	16,7%	6,3%

Fonte: Autor.

A visualização desses dados permite uma compreensão imediata das tendências gerais de decaimento de potência, facilitando a identificação de padrões significativos. Ao observar o comportamento dos percentuais ao longo do tempo, torna-se possível destacar pontos específicos onde ajustes ou otimizações podem ser necessários para garantir uma estabilidade consistente na entrega de potência.

No Gráfico 3 é apresentado o gráfico de percentual de queda de potência do Laser P36 nesse gráfico é possível ver o comportamento do percentual de queda médio, mínimo e máximo do Laser, no qual o resultado do percentual médio atinge uma queda de 10% em 4min, a queda mínima de 7,9% em 4min e o máximo de 13% em 4min.

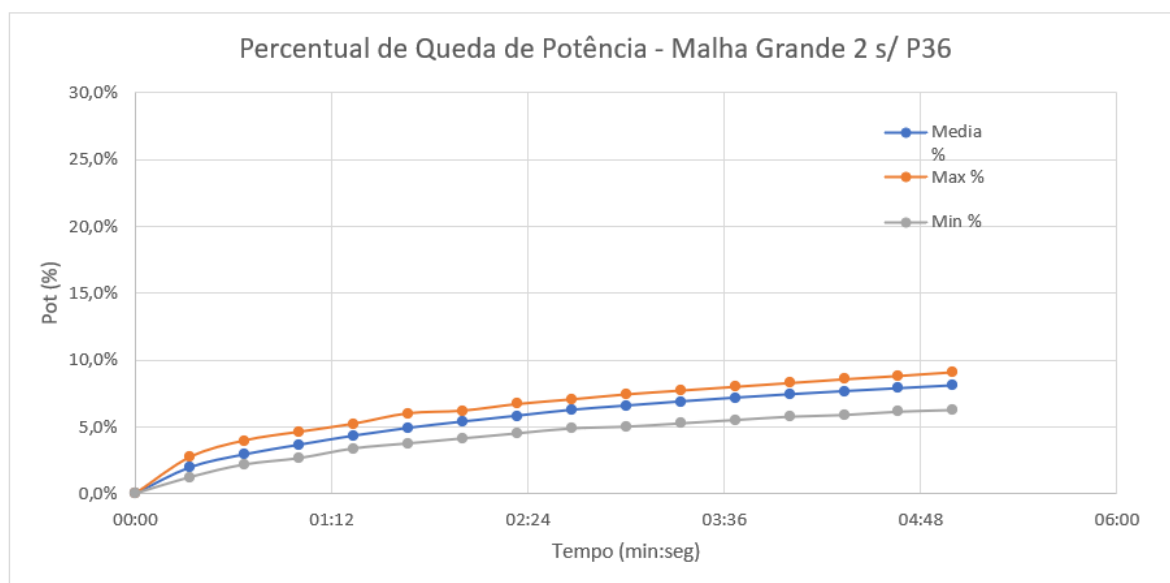
Gráfico 3 – Mínimo, Média e Máxima de Potência da Malha Grande.



Fonte: Autor.

A variação máxima que destoava se deu devido o comportamento do Laser da Posição P36, ao removê-lo da tabela, pode-se observar e confirmar que o comportamento dos Lasers é bem semelhante, como pode ser visto no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Percentual de Queda de Potência do Laser P36.



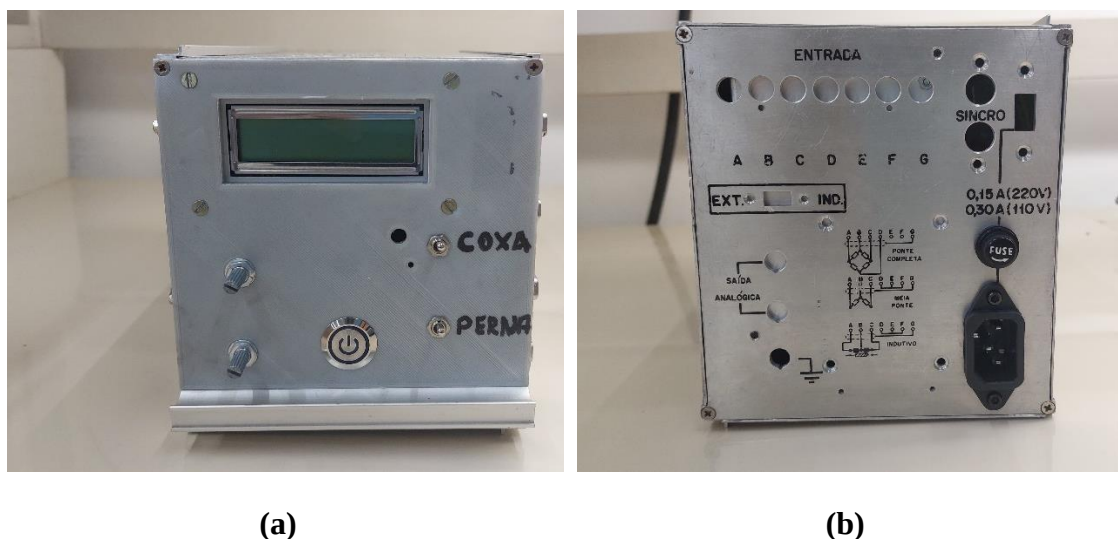
Fonte: Autor.

3.7. DISPOSITIVO PARA LIGAR AS MALHAS

Para poder estar ligando as malhas foi construído uma estação para estar ligando todos os canais das malhas, como apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.1** (a) mostra a parte frontal do aparelho onde consiste em um botão Power, duas chaves alavancas, uma para acionar as malhas grandes que são para a aplicação da região femoral e a outra chave alavanca é para acionar as malhas pequenas para a aplicação da região dos tríceps Sural. Dois potenciômetros um para ajustar o tempo da malha grande e o outra para ajustar o tempo da malha pequena, por último um display que mostrará o tempo e a potência.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.1** (b) mostra a parte traseira, da alimentação, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.1** (c) mostra uma das laterais onde as conexões dos canais 1 das malhas de aplicação grande e pequena da mesma forma os canais 2 comportam as malhas grandes e pequenas para a aplicação, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.1** (d) demonstra a outra lateral na qual mostra as conexões dos canais 3 e 4 que serão comportadas as malhas placebos tanto a grande como a pequena.

Figura 21 – Fonte Central (a) Frente. (b) Traseira. (c) Lateral Direita. (d) Lateral Esquerda.





(c)



(d)

Fonte: Autor.

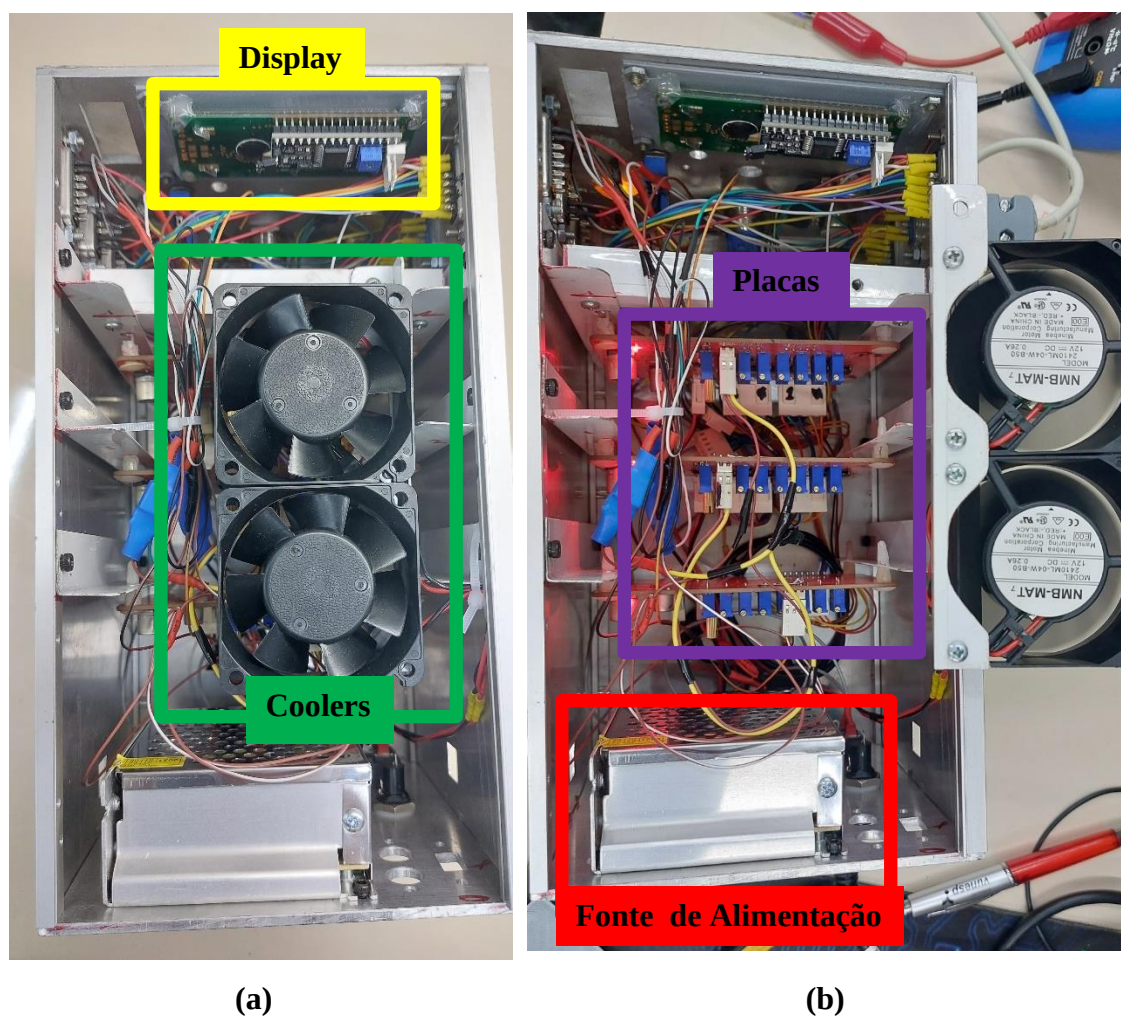
Para garantir uma alimentação eficiente, a Fonte Central está equipada com uma fonte chaveada que suporta entrada de 110/220V e proporciona uma saída estável de 12V. Além disso, são incorporadas três Placa Controladora para Regulagem de Amperagem, as quais desempenham um papel crucial no gerenciamento preciso da corrente entregue a cada canal, garantindo a segurança dos LEDs e lasers contra possíveis picos de energia.

As placas Laser LED são responsáveis por ajustar e manter a amperagem de forma controlada. Elas representam uma camada crítica de proteção, contribuindo para a estabilidade operacional do sistema e prevenindo danos causados por flutuações inesperadas de energia.

Para controlar a dissipação de calor interno, a Fonte Central é equipada com dois coolers de alta vazão, garantindo a eficiência térmica do sistema. A Figura 10 ilustra de forma visual esses elementos, destacando a disposição estratégica e a interconexão desses componentes para assegurar a confiabilidade e o desempenho otimizado da Fonte Central no contexto do projeto.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.2** (a) mostra dentro do equipamento, onde estão as 3 placas Laser e LED estando desligadas e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.2** (b) mostra o equipamento em funcionamento.

Figura 22 - Fonte Central (a) Aberta Desligada. (b) Aberta Ligada.



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo é apresentado os resultados do desenvolvimento do equipamento.

4.1. MALHAS

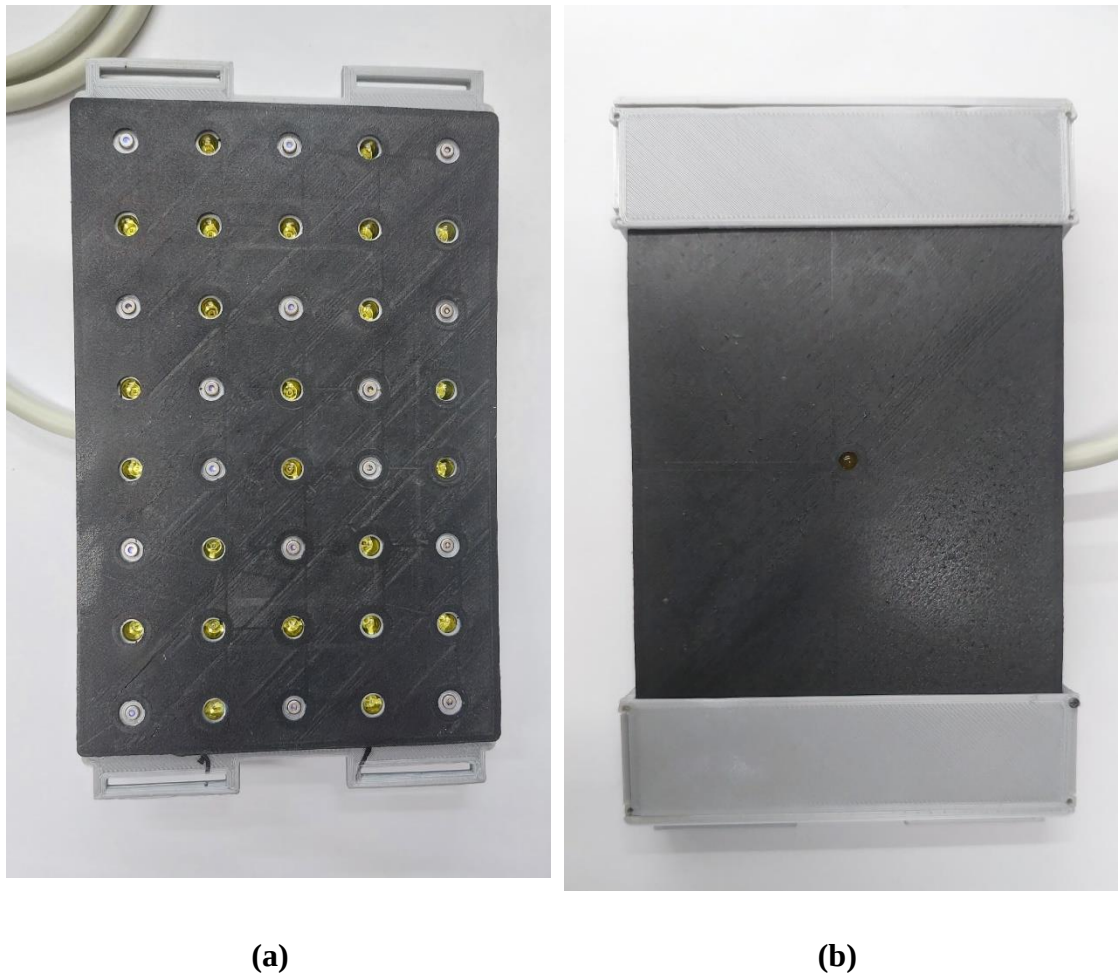
A conclusão do projeto de impressão das malhas fora positiva, revelando que a montagem ocorreu conforme as previsões iniciais, culminando em resultados altamente satisfatórios no que se refere à moldagem dessas malhas ao corpo. A precisão e eficácia alcançadas no processo de impressão contribuíram significativamente para atender a prioridade estabelecida, que era a adaptação anatômica perfeita com a implementação dos diodos.

A conformidade das malhas ao corpo evidencia não apenas a acurácia do design inicial, mas também a efetividade da aplicação prática do processo de impressão. A capacidade de reproduzir fielmente as características anatômicas esperadas destaca o potencial revolucionário dessa abordagem no campo da fabricação de vestuário adaptável.

A satisfação dos resultados obtidos não se limita apenas à estética, mas também se estende à funcionalidade, uma vez que a moldagem adequada ao corpo pode influenciar diretamente o conforto e desempenho do usuário.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.3** apresenta a malha de aplicação grande montada e pronta para ser utilizada, sendo a imagem **Erro! Fonte de referência não encontrada.3** (a) mostrando a parte posterior da malha onde é aplicado no corpo do paciente e a imagem **Erro! Fonte de referência não encontrada.3** (b) a parte frontal na qual tem o led indicando o funcionamento do equipamento.

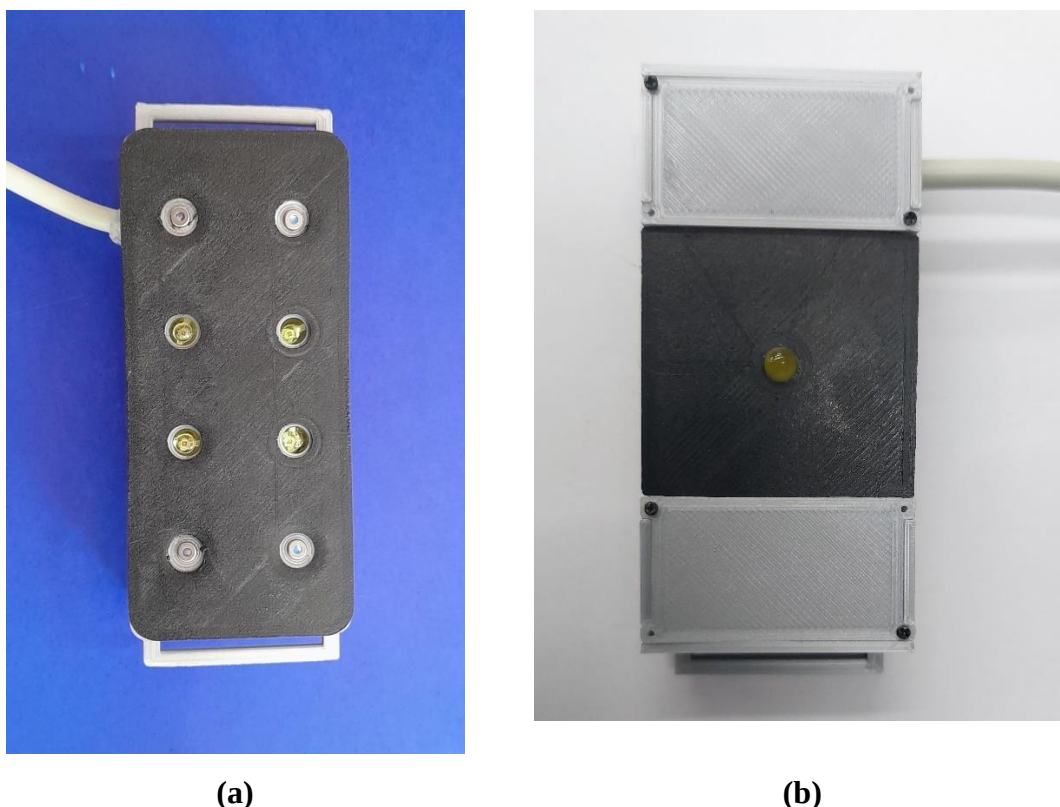
Figura 23 – Malha Grande Finalizada (a) Parte Posterior da Malha de Aplicação Grande. (b) Parte Frontal da Malha de Aplicação Grande.



Fonte: Autor.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.4** apresenta a malha de aplicação pequena montada e pronta para utilizada, sendo a imagem **Erro! Fonte de referência não encontrada.4** (a) mostrando a parte posterior da malha onde é aplicado no corpo do paciente e a imagem **Erro! Fonte de referência não encontrada.4** (b) a parte frontal na qual tem o led indicando o funcionamento do equipamento.

Figura 24 – Malha Pequena Finalizada (a) Malha de Aplicação Pequena. (b) Malha de Aplicação Pequena.



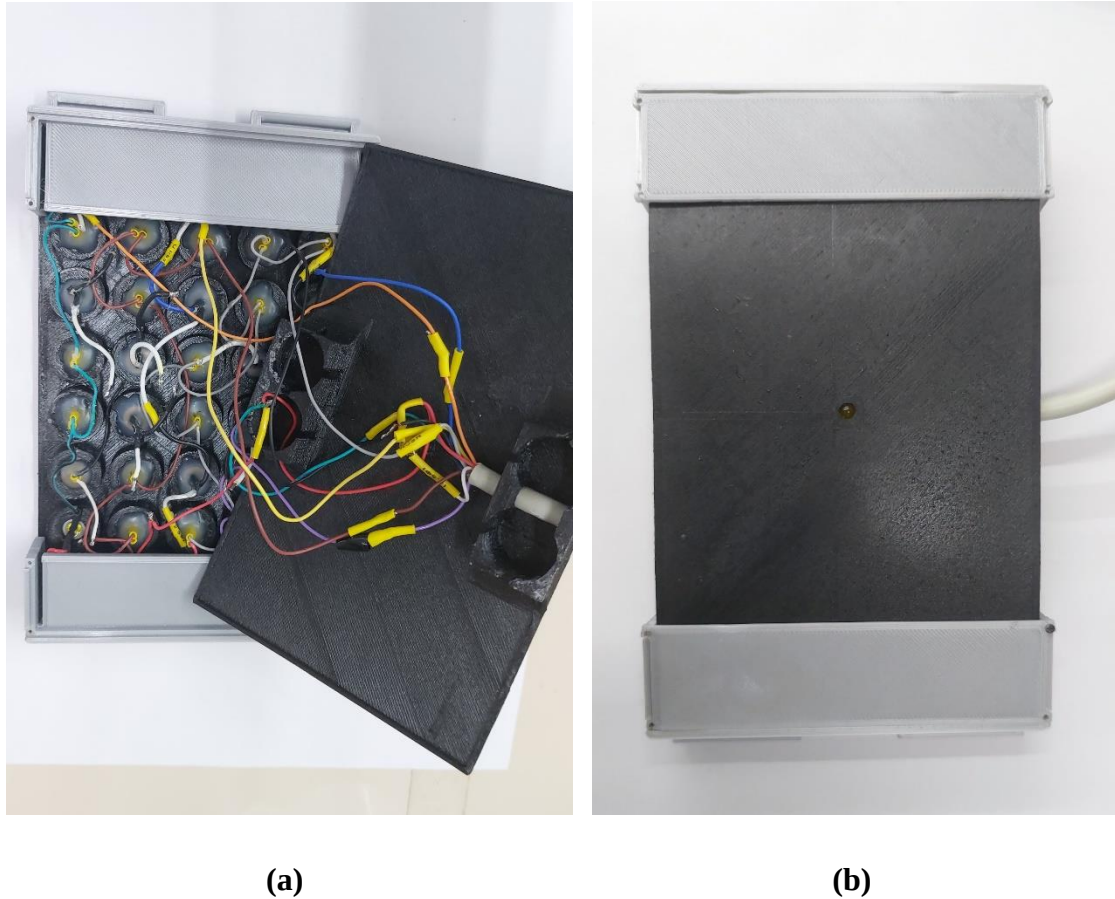
Fonte: Autor.

4.2. MALHAS PLACEBO

Por se tratar de ensaios clínicos ou práticas clínicas, foram incluídas mantas placebos para diferentes propósitos e recursos, as malhas placebo, nesse contexto, servem como um elemento crucial para a compreensão dos efeitos reais das intervenções propostas, ajudando a diferenciar os benefícios atribuíveis à terapia em si dos efeitos de outros fatores externos. Foram feitas quatro malhas placebos duas grandes para o uso na região femoral e mais duas pequenas para o uso na região tríceps Sural.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**5 (a) é possível observar a manta grande aberta, e na parte interna nos lugares dos Lasers e LEDs foram colocados somente os seus suportes e fios para que sejam convincentes para a hora da aplicação, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**5 (b) mostra o equipamento fechado e somente a um LED na tampa tal que seja visível ao olho humano dessa forma o equipamento emite uma luz guia não sendo os diodos que de fato são usados para o tratamento,

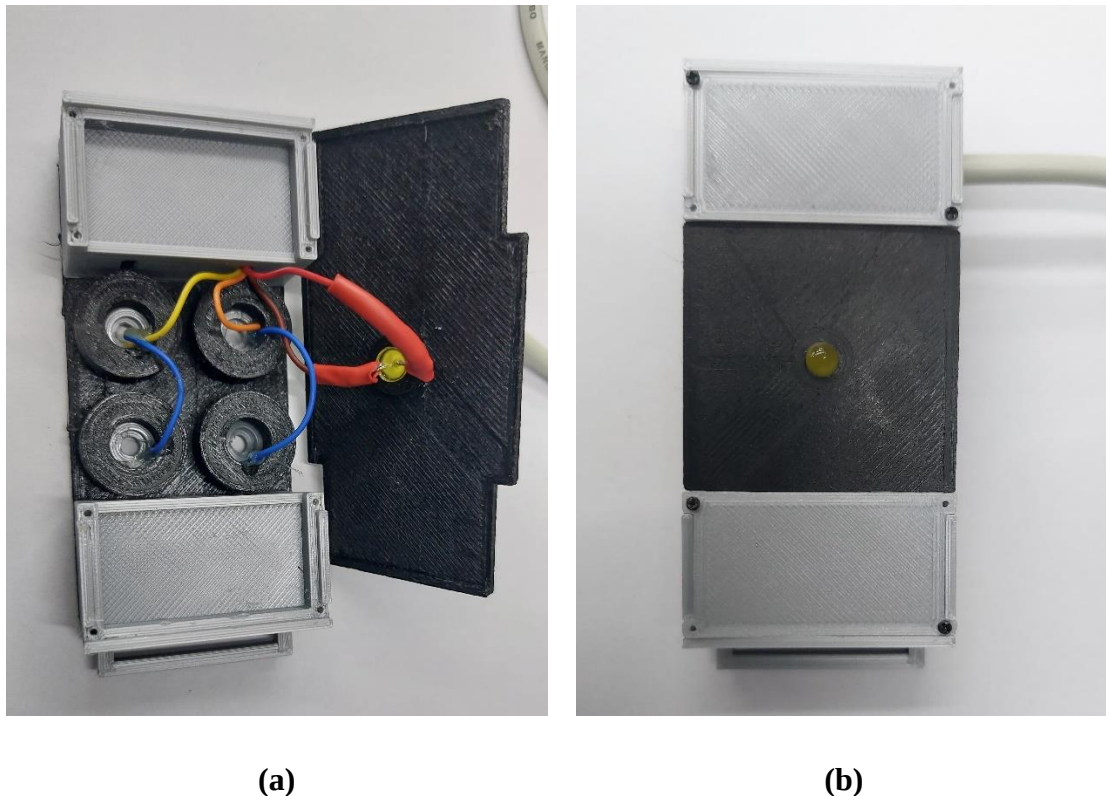
Figura 25 – Malha Grande Placebo (a) Malha Grande Placebo Aberta. (b) Malha Placebo Grande Fechada.



Fonte: Autor.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**6 (a) é possível observar a malha pequena aberta, e na parte interna nos lugares dos Lasers e LEDs foram colocados somente os seus suportes e fios para que sejam convincentes para a hora da aplicação, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**6 (b) mostra o equipamento fechado e somente a um LED na tampa tal que seja visível ao olho humano dessa forma o equipamento emite uma luz guia não sendo os diodos que de fato são usados para o tratamento,

Figura 26 – Malha Pequena Placebo (a) Malha Placebo Pequena aberta. (b) Malha Placebo Pequena Fechada.



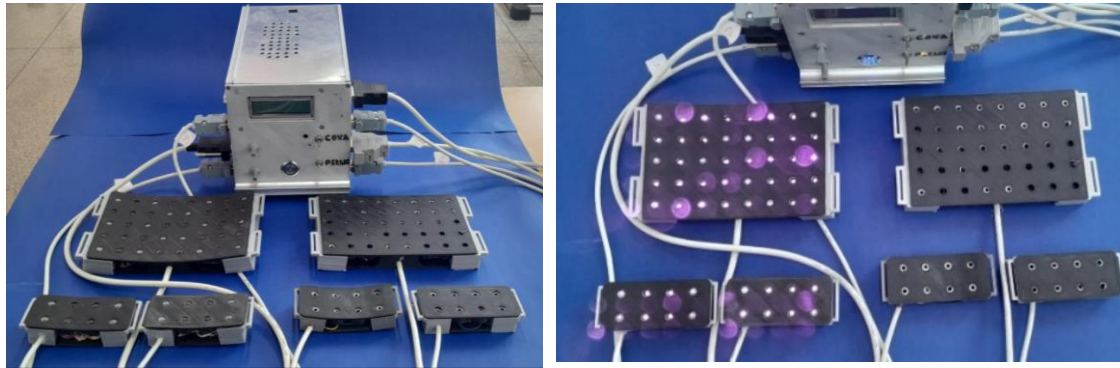
Fonte: Autor.

4.3. FONTE CENTRAL

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**7 demonstra como as malhas são conectadas no dispositivo na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**7 (a) as malhas estão conectadas, porém o dispositivo está desligado já na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**7 (b) é possível ver as malhas ligadas pois a câmera do celular capta os LEDs infravermelhos obtendo esses feixes de luz lilás.

Na figura estão conectadas uma malha grande de aplicação e outra malha grande placebo junto com mais duas malhas pequenas de aplicação e duas malhas pequenas placebo.

Figura 27 – Funcionamento (a) Malhas conectadas ao dispositivo desligadas. (b) Malhas conectadas ao dispositivo ligadas.



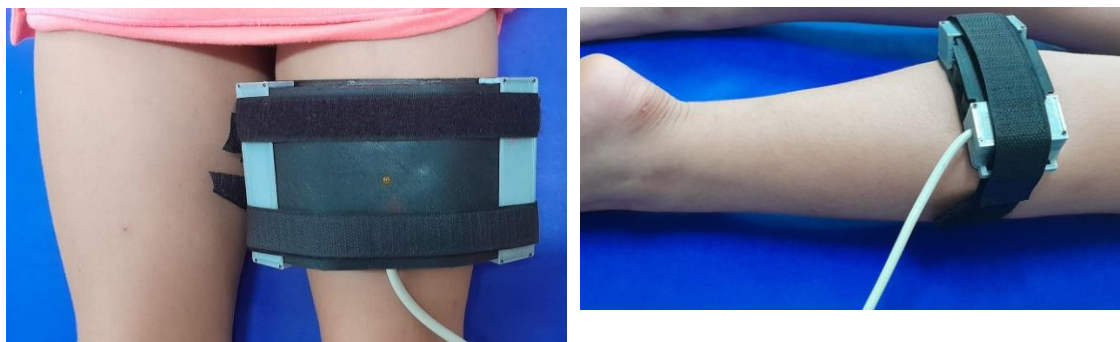
(a)

(b)

Fonte: Autor.

A aplicação das malhas funciona mediante o contato com a pele, na qual os Lasers e os LEDs estarão em contato com a pele na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**8 apresenta como deverão ficar as malhas no corpo. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**8 (a) Malha grande em contato com a região femoral. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**8 (b) Malha pequena em contato com a região do tríceps Sural.

Figura 28 – Malhas em Funcionamento (a) Malha grande em contato com a região femoral. (b) Malha pequena em contato com a região do tríceps Sural.



(a)

(b)

Fonte: Autor.

5 CONCLUSÃO

A conclusão do desenvolvimento do equipamento de fotobiomodulação com matrizes de lasers e LEDs infravermelhos de baixa potência revela avanços notáveis que poderão ser melhorados futuramente. Os resultados obtidos nesta pesquisa apontam para a eficácia promissora do dispositivo, destacando seu potencial impacto positivo para a aplicação em processos terapêuticos.

Futuramente serão realizados ensaios clínicos onde espera-se que sejam reveladas melhorias significativas em diversos parâmetros, além disso, a aplicação segura do dispositivo, marcada pelo uso de baixas potências e de usabilidade, ressalta sua viabilidade e conformidade com padrões de segurança estabelecidos.

A implementação de matrizes no design do equipamento demonstrou ser crucial, proporcionando uma distribuição uniforme da luz e, conseqüentemente, maximizando a eficácia de tratamentos futuros. A versatilidade do dispositivo sugere sua aplicação em uma variedade de campos, como dermatologia, fisioterapia e medicina esportiva, oferecendo uma alternativa não invasiva e potencialmente revolucionária para abordagens terapêuticas convencionais.

Em síntese, os resultados obtidos nesta pesquisa sugerem que o equipamento de fotobiomodulação representa uma contribuição significativa para a ciência médica, apresentando-se como uma ferramenta promissora para a promoção da saúde e recuperação de pacientes. A continuidade dos estudos e a exploração de novas aplicações clínicas consolidarão o papel do avanço do equipamento.

5.1. TRABALHOS FUTUROS

Esperasse desenvolver uma nova placa para que cada Laser e LED tenha seu próprio canal individual, na qual já está em andamento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. I. L. **Construção de uma matriz de díodos emissores de luz acoplada a um concentrador para fototerapia**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/4330>. Acesso em: 21 jan. 2024.

ALMEIDA-LOPES, L.; LOPES, A. **Atualização clínica em odontologia: técnica de drenagem linfática ativada por laserterapia**. São Paulo: Artes Médicas, 2006.

BAGNATO, V. S. **Novas técnicas ópticas para as áreas de saúde**. São Paulo: Livraria da Física, 2008. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=wgCVjsI7pZ8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=BAGNATO,+S,+V.+Novas+t%C3%A9cnicas+%C3%B3pticas+para+%C3%A1reas+da+sa%C3%BAde.+S%C3%A3o+Paulo:+Livraria+da+f%C3%ADsica,+2008.+239+p.&ots=fzEOW6cX66&sig=ux1lRezq9dQng2B6_rHIpSYsWKc. Acesso em: 21 jan. 2024.

BARBOSA, M. T. A.; LIMA, Y. A. **Análise temporal da morbidade hospitalar de lesões de pele no Brasil**. 2019. 26 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Enfermagem) - Universidade Tiradentes, Aracajú, 2019.

BAROLET, D. Light-emitting diodes (LEDs) in dermatology. *Em: SEMINARS IN CUTANEOUS MEDICINE AND SURGERY*, 2008, [s. l.]. **Anais [...]**. :Amsterdam: Elsevier, 2008 p. 227–238. Disponível em: <https://assets-us-01.kc-usercontent.com/9832d3f0-685b-0021-9fc3-0a88ee8dfc7a/2b937d88-db17-4b4b-b2f0-bcc65d339b83/LEDs%20in%20Dermatology%20Study.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

BAROLI, B. M. Penetration of nanoparticles and nanomaterials in the skin: fiction or reality? **Journal of Pharmaceutical Sciences**, Easton, v. 99, n. 1, p. 21-50, 2010.

BAXTER, G. D. **Therapeutic lasers: theory and practice**. New York: Churchill Livingstone, 1994.

BESKO, M.; BILYK, C.; SIEBEN, P. G.. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Gestão Tecnologia e Inovação**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 9–18, 2017. Disponível em: <https://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2024.

BUENO, J. Led terapia na faixa do vermelho ao infravermelho: uma nova abordagem sob a visão quântica para a saúde. **Revista Brasileira de Práticas Integrativas e Complementares em Saúde**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 102–110, 2014. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistasauade/index.php/revista-praticas-interativas/article/view/334>.

CAETANO, K. S. *et al.* Phototherapy promotes healing of chronic diabetic leg ulcers that failed to respond to other therapies. **Lasers Surg Med**, [s. l.], v. 41, n. 6, p. 433-41, Aug 2009.

CALMON, W. J. **Verificação in vitro das temperaturas intra pulpare geradas pelo clareamento dental com o fotopolimerizador, laser de argônio, laser de diodo de baixa potência e LEDs com laser.** 2006. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2006.

CARVALHO, S. **Análise histológica nas diferentes fases de cicatrização induzida por radiação LASER Diodo GaAs de 904 nm.** 2003; São José dos Campos.

COLLINS, T.; KUMAR, V.; COTRAN, R. S. Robbins patologia estrutural e funcional. *In: COLLINS, T.; KUMAR, V.; COTRAN, R. S. Robbins Patologia estrutural e funcional.* [S. l.: s. n.], 2000. p. 1251–1251. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/crt-3272>. Acesso em: 25 jan. 2024.

DARREN STARWYNN, O. M. D. Laser and LED treatments: which is better? [S. l.]: Microlight Institute, 2008. p. 2. Disponível em: <http://www.microlightinstitute.com/sites/default/files/Laser%20and%20LED.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

DUARTE, I.; BUENSE, R.; KOBATA, C. Fototerapia. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Rio de Janeiro, v. 81, p. 74–82, 2006. ISSN: 0365-0596, 1806-4841. DOI: 10.1590/S0365-05962006000100010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abd/a/MRVLjY6yq9RjJN9HM3YvyyQ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 jan. 2024.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentals of physics. [S. l.]: U.S. Department of Energy, 1988. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/7125217>. Acesso em: 4 fev. 2024.

HAMBLIN, M. R.; DEMIDOVA, T. N. Mechanisms of low level light therapy. **Mechanisms for low-light therapy**, [s. l.], v. 6140, p. 614001, 2006. Disponível em: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/6140/1/Mechanisms-of-low-level-light-therapy/10.1117/12.646294.short>. Acesso em: 25 jan. 2024.

KARU, T. I. **Low-power laser therapy.** [S. l.]: Biomedical photonics handbook, 2003. v. 48, p. 1–25. Disponível em: <https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/b17288-14&type=chapterpdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

KAVIANI, A. *et al.* A randomized clinical trial on the effect of low-level LASER therapy on chronic diabetic foot wound healing: a preliminary report. **Photomed LASER Surg**, v. 29, n. 2, p. 109-14, 2011.

LINS, R. D. A. U. *et al.* Efeitos bioestimulantes do laser de baixa potência no processo de reparo. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Rio de Janeiro, v. 85, n. 6, p. 849–855, 2010. ISSN: 0365-0596. DOI: 10.1590/S0365-05962010000600011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-05962010000600011&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 25 jan. 2024.

MEDEIROS, A.C.; DANTAS-FILHO, A. M. Cicatrização das feridas cirúrgicas. **Journal of Surgical and Clinical Research**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 87–102, 2016. ISSN: 2179-7889. DOI: 10.20398/jscr.v7i2.11438. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/jscr/article/view/11438>. Acesso em: 25 jan. 2024.

MESTER, E. A laser sugar alkamazaea a gyogyaezatban. **Orv Hetilap**, Budapest, v.107, p.1012, 1966.

MINATEL D. G.; FRADE M. A.; FRANÇA S. C.; ENWEMEKA C. S. Phototherapy promotes healing of chronic diabetic leg ulcers that failed to respond to other therapies. **Lasers in Surgery and Medicine**, Hoboken, v. 41, n. 6, 433-41, 2009.

MOREIRA, Mauro Ceretta. **Utilização de conversores eletrônicos que alimentam LEDs de alto brilho na aplicação em tecido humano e sua interação terapêutica**. 2009. 190 f. PhD Thesis - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3661>.

OLIAEI, E.; KAFFASHI, B; DAVOODI, S. Investigation of structure and mechanical properties of toughened poly(L-lactide)/thermoplastic poly (ester urethane) blends. **Journal of Applied Polymer Science**, Hoboken, v. 133, n. 15, p. 1-13, 2015.

OLIVEIRA R. F. *et al.* Comparison between the effect of low level LASER therapy and low intensity pulsed ultrasonic irradiation in vitro. **Photomedicine and LASER Surgery**, New Rochelle, v. 26, p. 6-9, 2008.

OLIVEIRA, A. L. *et al.* **Curso didático de estética**. 2 ed. São Caetano do Sul, 2014.

PINCHUK, Leonard. A review of the biostability and carcinogenicity of polyurethanes in medicine and the new generation of 'biostable' polyurethanes. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, Abingdon, v. 6, n. 3, p. 225-267, 1994.

POURZARANDIAN, A.; WATANABE, H.; RUWANPURA, S. M. P. M.; AOKI, A.; NOGUCHI, K.; ISHIKAWA, I. Er:YAG laser irradiation increases prostaglandin E₂ production via the induction of cyclooxygenase-2 mRNA in human gingival fibroblasts. **Journal of Periodontal Research**, Hoboken, v. 40, n. 2, p. 182–186, 2005. ISSN: 0022-3484, 1600-0765. DOI: 10.1111/j.1600-0765.2005.00789.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0765.2005.00789.x>.

PUGLIESE, L. S.; MEDRADO, A. P.; REIS, S. R. de A.; ANDRADE, Z. de A. The influence of low-level laser therapy on biomodulation of collagen and elastic fibers. **Pesquisa Odontológica Brasileira**, São Paulo, v. 17, p. 307-313, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pob/a/gFC5rByvNHk7RXnzzKMmMmr/?lang=en&format=html>. Acesso em: 25 jan. 2024.

RIGAU, J. **Acción de la luz láser a baja intensidad en la modulación de la función celular**. 1997. PhD Thesis - Universitat Rovira i Virgili, [s. l.], 1997. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=265729>.

SIQUEIRA, C. P. C. M. *et al.* Efeitos biológicos da luz: aplicação de terapia de baixa potência empregando LEDs (Light Emitting Diode) na cicatrização da úlcera venosa: relato de caso. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 37-46, 2009. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/seminabio/article/view/2898>. Acesso em: 25 jan. 2024.

TPU Archives. Engenheiro de Materiais. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: <http://engenheirodemateriais.com.br/tag/tpu/>. Acesso em: 26 jan. 2024.

TUNÉR, J.; HODE, L. **The new laser therapy handbook**. Estônia: Prima Books AB, 2010.

VEÇOSO, M. C. **Laser em fisioterapia**. São Paulo: Lovise 1993.

WARRINER, R.; BURRELL, R. Infection and the chronic wound: a focus on silver. **Adv Skin Wound Care**, Philadelphia, v. 18 Suppl 1, p. 2-12, 2005.

WERNER, S.; GROSE, R. Regulation of wound healing by growth factors and cytokines. **Physiol Rev**, Rockville, v. 83, n. 3, p. 835-70, 2003.

WUNSCH, A.; MATUSCHKA, K. A Controlled trial to determine the efficacy of red and near-infrared light treatment in patient satisfaction, reduction of fine lines, wrinkles, skin roughness, and intradermal collagen density increase. **Photomed Laser Surg.**, [s. l.], v. 32, n. 2, p. 93-100, 2014.

XAVIER, R. T. **Implementação de uma prótese ativa para membro superior de baixo custo**. [S. l.: s. n.], 2016.

YEH, N.; CHUNG, J.-P. High-brightness LEDs: energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 13, n. 8, p. 2175-2180, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109000471?casa_token=ppPm-zQI6rkAAAAA:jdkXC0ywDvVT9ZSvO6T3By-2pcOY-UHSuFtHxPRXkWsdayDSnIm_noOhAVijoNlwDCIWW1-mqpE. Acesso em: 25 jan. 2024.