

**Universidade do Vale do Paraíba
Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento
Programa de Pós-Graduação Bioengenharia**

LUCIANA RODRIGUES CHAVES MEIRELLES

**“DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO MARCADOR COLAR CERVICAL
PARA A UTILIZAÇÃO NA LASERTERAPIA DA TÉCNICA ILIB”**

São José dos Campos, SP.
2020

LUCIANA RODRIGUES CHAVES MEIRELLES

**“DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO MARCADOR COLAR CERVICAL
PARA A UTILIZAÇÃO NA LASERTERAPIA DA TÉCNICA ILIB”**

Relatório Técnico Final para Defesa de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba como requisito parcial para a obtenção do grau Mestre em Bioengenharia

Área de concentração: Engenharias IV

Orientadora: Prof^{fa}. Dr^a. Erika Peterson
Gonçalves

São José dos Campos, SP.
2020

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO DA OBRA

Ficha catalográfica

Meirelles, Luciana Rodrigues Chaves
Desenvolvimento de um dispositivo marcador colar cervical
para a utilização na laserterapia da técnica ILIB / Luciana
Rodrigues Chaves Meirelles; orientadora, Erika Peterson
Gonçalves. - São José dos Campos, SP, 2020.
1 CD-ROM, 47 p.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade do Vale do
Paraíba, São José dos Campos. Programa de Pós-Graduação em
Bioengenharia.

Inclui referências

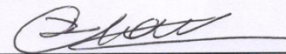
1. Bioengenharia. 2. Fotobiomodulação ILIB. 3. Seleção de
materiais. 4. Seleção de processos. I. Gonçalves, Erika Peterson,
orient. II. Universidade do Vale do Paraíba. Programa de
Pós-Graduação em Bioengenharia. III. Título.

Eu, Luciana Rodrigues Chaves Meirelles, autor(a) da obra acima referenciada:

Autorizo a divulgação total ou parcial da obra impressa, digital ou fixada em
outro tipo de mídia, bem como, a sua reprodução total ou parcial, devendo o
usuário da reprodução atribuir os créditos ao autor da obra, citando a fonte.

Declaro, para todos os fins e efeitos de direito, que o Trabalho foi elaborado
respeitando os princípios da moral e da ética e não violou qualquer direito de
propriedade intelectual sob pena de responder civil, criminal, ética e
profissionalmente por meus atos.

São José dos Campos, 29 de Janeiro de 2021.



Autor(a) da Obra

Data da defesa: 01 / 02 / 2021

LUCIANA RODRIGUES CHAVES MEIRELLES

“DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO MARCADOR COLAR CERVICAL PARA UTILIZAÇÃO NA LASERTERAPIA DA TÉCNICA ILIB.”

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, do Programa de Pós-Graduação em Bioengenharia, do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba – Univap, pela seguinte banca examinadora:

PROF.^ª DR.^ª ANDREZA RIBEIRO SIMIONI 

PROF.^ª DR.^ª ERIKA PETERSON GONÇALVES 

PROF.^ª DR.^ª SONIA KHOURI SIBELINO 

PROF.^ª DR.^ª ANDREA SANTOS LIU - IFSP 

Prof.^ª Dr.^ª Lúcia Vieira

Diretora do IP&D – Univap

São José dos Campos, 19 de outubro de 2020.

Dedico todo sucesso deste trabalho à minha família, pelo qual me ausentei em vários momentos para a conclusão de mais um projeto.

Às minhas filhas Nathalya Chaves Meirelles pela dedicação e correção nos artigos, sempre atenciosa e determinada e a Rafaela Chaves Meirelles pelo tempo e amor dedicado.

Sidiane Araújo a qual DEUS me fez ser sua mãe, gratidão pelo apoio pelos conhecimentos da acupuntura.

Ao João Luiz Meirelles, minha maior inspiração na vida, sem você não teria conseguido sonhar e realizar mais este sonho.

A meu amigo e grande professor que me fez desenvolver o projeto do colar e acreditou na técnica, Juliano Abreu Pacheco, que seu caminho seja longo e vitorioso neste mundo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar força e discernimento em todos os momentos de minha vida.

À minha orientadora Prof^a Dr^a Erika Peterson Gonçalves, por seu profissionalismo, compreensão e solidariedade. Obrigada por confiar no meu trabalho, por contribuir para meu crescimento profissional e por me guiar durante tão sonhada caminhada. Agradeço a orientação em todas as fases deste trabalho.

À Coordenadora do Mestrado em Bioengenharia Prof^a Dr^a Andreza Ribeiro Simioni pela colaboração e apoio.

À Prof^a Dr^a Maria Regina de Aquino Silva pela dedicação nas aulas e pelo profissionalismo.

Ao Prof^o Dr^o Mário Oliveira Lima pelo incentivo e ajuda no processo da patente pelo brilhante trabalho e esforço dedicado na qualificação profissional e apoio à pesquisa científica aos seus alunos.

Aos mestres colegas e funcionários do IP&D pela dedicação, esforço e amizade.

À Prof^a Dr^a Luciana Almeida Lopes que me serviu de inspiração para o mestrado e pelo conhecimento sobre laserterapia proporcionado nestes 25 anos na minha carreira profissional.

À Prof^a e amiga Adriana Schapochnik no qual sem a brilhante aula não teria desenvolvido o marcador para a técnica ILIB.

E a Empresa Instituto Rennovari Academic Laser School por acreditar neste projeto com o apoio financeiro e incentivo na minha carreira profissional.

“Cem vezes por dia eu me lembro de que minha vida interior e exterior dependem do trabalho de outros homens, vivos e mortos, e que eu devo me esforçar ao máximo para dar na mesma medida em que recebi.”

Albert Einstein

RESUMO

O desenvolvimento de técnicas de terapias não invasivas e que apresentem efeitos colaterais reduzidos tem crescido no mercado mundial. A Fotobiomodulação também conhecida como laserterapia, trata-se de um tratamento que foi desenvolvido com este intuito, em particular a técnica de terapia conhecida no mercado como ILIB. O uso da luz vermelha na técnica ILIB tem tido seus efeitos comprovados na reparação, na ação anti-inflamatória, na ação circulatória e na biomodulação de pacientes sejam eles imunossuprimidos ou não; inclusive em tratamentos de diversas doenças em ambientes hospitalares. Visando aperfeiçoar e ampliar o efeito sistêmico da fotobiomodulação localizada, o dispositivo colimador para o tipo marcador em forma de colar e ou pulseira para diversas regiões do corpo foi desenvolvido para a aplicação e utilização em aparelhos de fototerapia com potência de 5 mW a 500 mW, cuja técnica é conhecida no mercado como ILIB transdérmico. O produto foi desenvolvido utilizando-se as técnicas de seleção de materiais e processos propostas por Ashby baseando-se em melhorias quanto à segurança e conforto do paciente, e as características térmicas do material. As dimensões do protótipo foram baseadas nos produtos comerciais buscando melhorar a estabilidade de encaixe do equipamento almejando proporcionando melhor confiabilidade na técnica aplicada. Por estas análises determinou-se que os protótipos foram produzidos em politetrafluoroetileno (PTFE) por usinagem de tarugos comerciais.

Palavras-chave: Fotobiomodulação ILIB. Dispositivo colimador marcador. Seleção de materiais. Seleção de processos.

“DEVELOPMENT OF A CERVICAL NECKLACE MARKER DEVICE FOR USE IN LASERTHERAPY OF THE ILIB TECHNIQUE”

ABSTRACT

The development of non-invasive therapy techniques that have reduced effects has grown on the world market. Laser therapy is one of those techniques that were used for this purpose, in particular a therapy technique known on the market as ILIB. The use of red light in the ILIB technique had its effects proven in repair, anti-inflammatory action, circulatory action and biomodulation of patients, regardless of whether they are immunosuppressed or not; including in the treatment of various diseases in hospital environments. Aiming to improve and extend the systemic effect of localized laser therapy, the marker-type colimator device in the form of a necklace and bracelet for different regions of the body was developed for application and use in laser therapy devices with a capacity of 5 mW to 500 mW, technical practice is known on the market as ILIB Intradermal. The product was developed using as materials selection techniques and processes applied by Ashby, improving them in terms of patient safety and comfort and as thermal characteristics of the material. The dimensions of the prototype were used in commercial products that seek to improve the stability of the fitting of the equipment, allowing better use of the applied technique. Through these analyzes, we determined that the prototypes were used in polytetrafluoroethylene (PTFE) by machining commercial billets.

Keywords: ILIB. Marked colimator device. Material selection. Process selection.

LISTA DE FIGURA

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do dispositivo colimador para o marcador.(Ashby) | 14 |
| Figura2– Indicação dos pontos de realização da laseracupuntura. | 16 |
| Figura 3 – Desenho esquemático da aplicação da Técnica ILIB na região radial..... | 20 |
| Figura 4 - Desenho do marcador tipo colar cervical ou pulseira | 21 |
| Figura 5 - Desenho do marcador colar e da técnica..... | 22 |
| Figura 6 - Intersecção de requisitos estudados..... | 27 |
| Figura 7 - Mapa de Propriedades Módulo de Elasticidade <i>versus</i> Densidade | 28 |
| Figura 8 - Mapa de propriedades Resistência <i>versus</i> Densidade | 32 |
| Figura 9 - Mapa de propriedades Módulo de Elasticidade <i>versus</i> Densidade | 33 |
| Figura 10 - Resistência Mecânica dos polímeros selecionados..... | 34 |
| Figura 11 - Módulo de Elasticidade dos polímeros selecionados..... | 35 |
| Figura 12 - Densidade dos polímeros selecionados..... | 35 |
| Figura 13 - Mapa de Propriedades: Condutividade Térmica <i>versus</i> Expansão Térmica | 37 |
| Figura 14 - Condutividade Térmica dos polímeros selecionados..... | 38 |
| Figura 15 - Expansão Térmica dos polímeros selecionados..... | 39 |
| Figura 16 - Temperatura de Amolecimento dos polímeros selecionados | 40 |
| Figura 17 - Imagem Ilustrativa 3D das peças | 41 |
| Figura 18 - Projeto detalhado da peça | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Requisitos de projeto | 25 |
| Tabela 2 – Polímeros pré-selecionados | 29 |
| Tabela 3–Propriedades dos materiais pré-selecionados..... | 30 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 APRESENTAÇÃO DO TEMA OU DO PROBLEMA INVESTIGADO..... | 12 |
| 2 DESCRIÇÃO DO PLANEJAMENTO SEGUIDO..... | 14 |
| 3 APRESENTAÇÃO DE HIPÓTESES FORMULADAS, DEFINIÇÕES, CATEGORIAS, CONCEITOS UTILIZADOS..... | 15 |
| 3.1 Histórico do Tratamento com Laserterapia | 17 |
| 3.2 TÉCNICA DE IRRADIAÇÃO INTRAVASCULAR COM TERAPIA ILIB..... | 19 |
| 3.3 Desenvolvimento de um produto e a seleção de materiais e processos..... | 22 |
| 4 JUSTIFICATIVA DO MÉTODO ESCOLHIDO..... | 24 |
| 4.1 Descrição dos instrumentos e técnicas para compaginação das informações | 24 |
| 5 CONCLUSÃO E JUSTIFICATIVA DA AMOSTRA SELECIONADA..... | 43 |
| REFERÊNCIAS..... | 44 |

1 APRESENTAÇÃO DO TEMA OU DO PROBLEMA INVESTIGADO

A aplicação da técnica ILIB baseada em protocolos da fotobiomodulação tem crescido nos últimos anos. Com a ampliação de sua aplicação, tem sido reportado por usuários na área da saúde a necessidade de melhorias no dispositivo marcador, alguns devido a superfície metálica que entra em contato com a derme do paciente e outros ainda a dificuldade na manutenção de controle e estabilidade da colimação do laser aplicado.

Com a possibilidade da aplicação na artéria carótida externa e devido ao um novo design do marcador produto comercial desenvolvido pelo autor e já encontrado no mercado, no qual possui dimensões aumentadas que inovou a técnica sendo a partir deste a possibilidade de aplicação em outras regiões ; que permite a utilização em locais além do pulso como na região da femoral do paciente. Com este houve a necessidade de desenvolver um colimador no qual proporcionaria melhoria e sancionaria os problemas apresentados no mercado.

O contato de uma superfície metálica encontrada em alguns marcadores tipo pulseira com a derme relacionada ao fototipo do paciente pode provocar desconfortos durante a sessão de ILIB terapia devido ao aquecimento desta região pelo dispositivo quando em contato com o feixe de laser.

A versatilidade de aplicação da ponteira colimadora adaptável do equipamento utilizado para esta terapia é um ponto positivo da técnica, porém o caráter removível da referida ponteira pode se tornar um empecilho ao usuário quando mal posicionada ou a utilização deste equipamento na ausência deste importante colimador/ espaçador.

Deste modo, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo para o marcador necklace ILIB ® usado para utilização da Técnica ILIB que seja aplicável e adaptável a ponteira dos diversos equipamentos existentes no mercado, seja autoclavável, apresente baixa condutividade térmica e elétrica; e possibilite maior controle da colimação do feixe do laser.

Sendo a técnica mais precisa e indolor e com tecnologia de autoclavável permite a aplicabilidade na uti hospitalar proporcionando uma melhora no quadro da saúde em geral principalmente a pacientes oncológicos e imuno suprimidos, diminuição do tempo no leito dos hospitais bem como a melhora e sobrevida dos

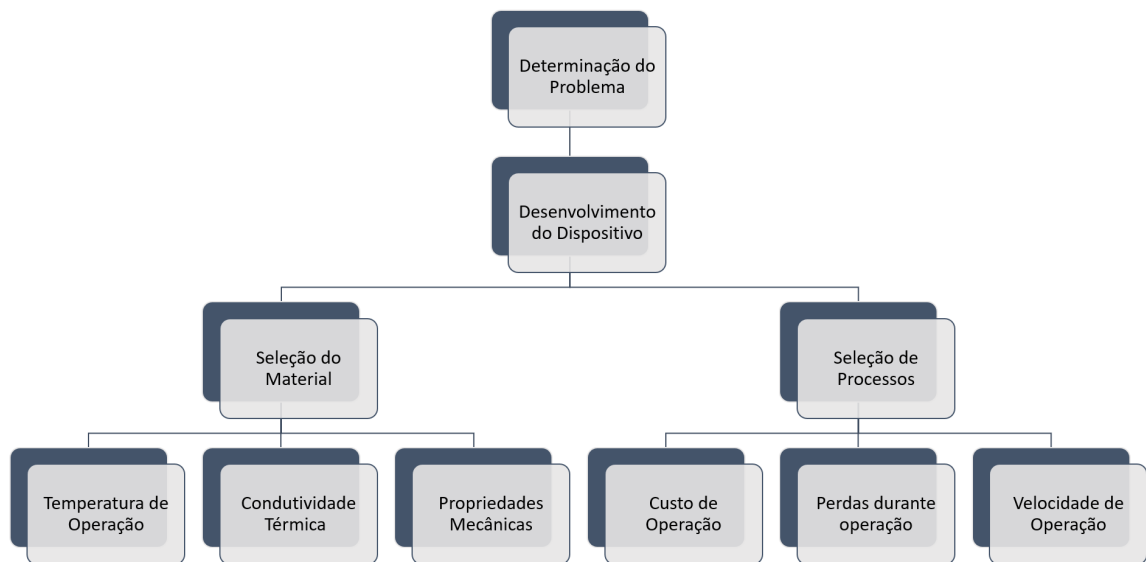
mesmos, gerando menor custo e tempo nas internações e reintegrando mais rápido o paciente ao convívio social.

2 DESCRIÇÃO DO PLANEJAMENTO SEGUIDO

Com base nas necessidades de melhoria do produto em relação ao aquecimento, oxidação, quebra, perda ou desgaste do dispositivo e relatadas pelos profissionais da área da saúde o desenvolvimento do dispositivo foi realizado utilizando-se procedimentos de Seleção de Materiais e Processos propostos por Ashby.

A Figura 1 mostra o fluxograma das etapas desenvolvidas.

Figura 1 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento do dispositivo colimador para o marcador.(Ashby)



Fonte: o autor

3 APRESENTAÇÃO DE HIPÓTESES FORMULADAS, DEFINIÇÕES, CATEGORIAS, CONCEITOS UTILIZADOS

Desde a década de 60 tem-se estudado e comprovado a ação da luz coerente na região do visível e do infravermelho. Em 1917 Albert Einstein por meio de sua teoria e estudos sobre o efeito elétrico descobriu que a energia da luz é transferida em quantidades pequenas nas quais foram denominadas de fótons (WEBER,1999).

Com a evolução dos estudos, pode-se empregar transferência de energia a partir de energia luminosa em terapias eficazes, tais como a aplicação de lasers de baixa potência. Esta técnica depende de uma reação em cadeia que é estimulada através de fótons direcionados em pontos terapêuticos. Assim, o fóton é o principal agente indutor da resposta biológica sobre as vias metabólicas o que acarreta melhoria nos quadros clínicos e terapêuticos quando tratadas patologias localizadas numa profundidade de vários centímetros.

Os efeitos terapêuticos aparentemente surgem direta ou indiretamente da interação eletromagnética da luz com o tecido e não dos efeitos térmicos ou fotoquímicos induzidos diretamente sobre o tecido (BELLAND,1975)

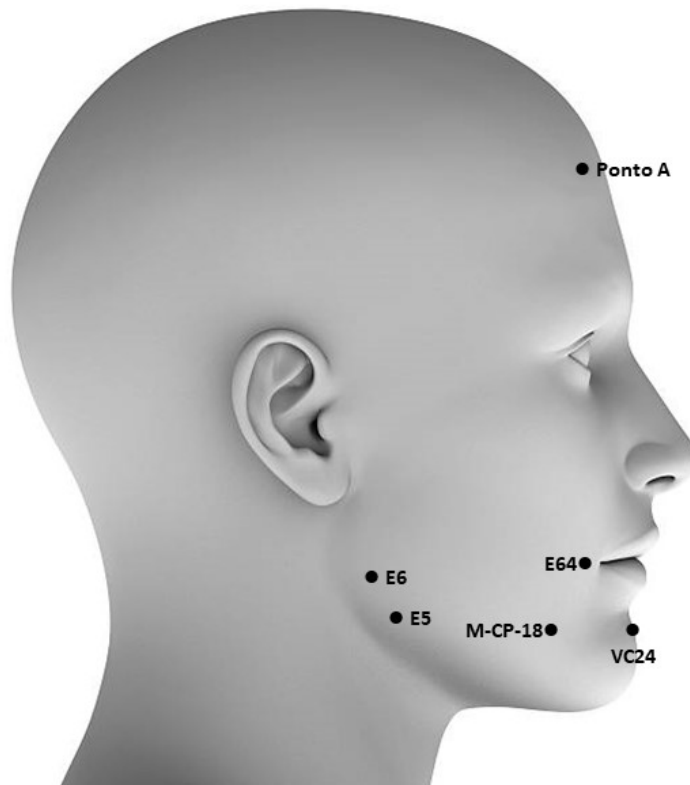
A Fotobiomodulação é uma técnica com relativamente reduzido efeito colateral o que a torna promissora para a aplicação em pacientes imunossuprimidos pois a estimulação nessa terapia, além de indolor apresenta-se como um tratamento não invasivo e atraumático. Sua execução é rápida e de fácil aplicação pelo profissional qualificado.

A acupuntura consiste na ativação de receptores e na recuperação tecidual e da homeostase em pontos específicos do corpo.

A junção destas duas técnicas, laserterapia e acupuntura, resultou no que é chamado hoje de laseracupuntura ou laserpuntura(LA), consiste na aplicação da luz LASER sobre os pontos de acupuntura tradicionais da Medicina Chinesa. Na área da Odontologia tem sido utilizada em tratamento de disfunção temporo-mandibular (DTM), intercorrências dos ramos do trigêmeo (mandibular e maxilar), nervo facial, anestésias em cirurgias orais menores e dor miofacial (OLIVEIRA, 2018).

A Figura2 mostra esquematicamente a indicação dos pontos de realização de laseracupuntura onde estão apresentados E-4(dicang), M-CP-18(jiachengjiang), VC-24(chengjiang), E-5(daying), E-6(jiache) e ponto A1 (YNSA).

Figura2– Indicação dos pontos de realização da laseracupuntura.



Fonte: Adaptado de Oliveira, 2016

A teoria eletromagnética de Maxwell, postulada em 1862, trata da propagação da luz, enquanto a teoria quântica, postulada atualmente descreve a interação da luz com a matéria (GARCEZ, 2012).

O efeito bioenergético foi estudado em diversos cultivos independentes estes estudos reportaram que as células vivas emitem irradiação própria e que as radiações laser proporcionam estímulo ao trofismo celular e à microcirculação em células tecidos e organismos desde que seja aplicado uma energia válida que ative estes processos.

Essas respostas bem-sucedidas deram origem à técnica de tratamento que tem sido muito explorada há quase 30 anos que se baseia na irradiação com a luz vermelha ou infravermelho dentro dos vasos sanguíneos, hoje conhecida como terapia ILIB. Embora o uso da terapia ILIB com o laser vermelho sobre a biomodulação não tenha protocolo específico, vários estudos têm demonstrado melhora no metabolismo energético na produção de antioxidantes e na sobrevivência das células.

3.1 Histórico do Tratamento com Laserterapia

Em 1917 Albert Einstein postulou as bases da energia da luz onde relatou que a mesma é transferida em quantidades discretas (GARCEZ, 2012).

Em 1958, Towns e Arthur L. Schawlow relataram a forma física como uma amplificação de luz por emissão estimulada de radiação (*light amplification by stimulated emission of radiation* – LASER) mas somente em 1960, Theodore H. Maiman desenvolveu um aparelho que possibilitou a geração de LASER sendo o marco da ciência óptica (BAGNATO, 2008).

Em 1967 Endre Mester em seu experimento com um laser de rubi de baixa potência na fotocoagulação da retina, demonstrou a bioestimulação através do LASER que atualmente é considerada como o termo de fotobiomodulação ou fototerapia (MESTER; SZENDE; GARTNER, 1968).

Em 1989, Basford foi um dos primeiros autores a relatar sobre que não era a coerência da luz presente nos LASERS que determinava o efeito terapêutico, pois essa se perde logo que a luz penetra no tecido biológico (HOTTA, 2010).

Na fotobiologia a primeira regra descreve que para a luz visível de baixa potência obter efeito no sistema vivo, os fótons devem ser absorvidos por uma molécula que age como um cromóforo ou fotorreceptor (RIBEIRO; GARCEZ; NUÑES, 2012).

Na década de 80 alguns autores pesquisaram o mecanismo de ação *in vitro* do LASER de baixa potência. Estes estudos diferenciaram os resultados da luz para cada comprimento de onda e observaram que a os benefícios dependem tanto da dosagem quanto da fluência e irradiância da luz (KARU, 1989; BAGNATO, 2008)

O efeito bioelétrico da luz LASER normaliza o potencial de repouso da membrana, transformando a célula, fazendo que sua atividade seja reequilibrada e normalizada quanto ao efeito biológico. Isto confirma que as células emitem irradiações próprias e energia que estimula e equilibra as funções e deficiências dos tecidos e organismos (KARU; PYATIBRAT; KALENDO, 1995).

Dentre os benefícios da aplicação da laserterapia ativa pode-se citar o aumento da imunidade local o que favorece o sistema linfático e a drenagem na região induzindo a melhora do quadro de inflamação e geração de menor edema, redução da dor e desconforto ao paciente (ALMEIDA-LOPES, 2002).

A ação do LASER terapêutico sobre o processo inflamatório ocorre por meio da reação de foto-resposta celular. Como efeito primário ocorre o aumento do metabolismo e da quantidade de endorfinas além de ocorrer a diminuição de mediadores, tais como, bradicinina e a serotonina. Como efeito secundário, é gerado o aumento do fluxo sanguíneo e da drenagem linfática. E efeitos tardios como o aumento da permeabilidade vascular e a ativação do sistema imunológico são observados durante o período de tratamento (ALMEIDA-LOPES; LOPES, 2006).

Com relação aos princípios fotobiológicos do LASER, alguns autores descrevem uma reação imediata da pré-estimulação de leucócitos (granulócitos e monócitos) por irradiação com LASER no sangue intravenoso, além da ativação da fagocitose, ou seja, destruição de bactérias e fungos por estas células (VLADIMIROV *et al.*, 2004).

Os efeitos observados ocorrem desde a ação anti-inflamatória e regeneração acelerada do tecido danificado até a aprimoração da circulação sanguínea nos órgãos devido à vasodilatação, alteração no estado de ativação dos macrófagos que é resultado da ativação da síntese de proteínas e aumento na produção de citocinas e outros mediadores inflamatórios (SOUZA *et al.*, 2014).

Vários estudos demonstram que o tratamento com luz LASER tem sido efetivo nos diversos tratamentos por biomodulação do metabolismo celular, analgesia, efeitos anti-inflamatórios sem promover efeitos mutagênicos e fototérmicos, estimulando as reações fotoquímicas e fotofísicas como a produção de trifosfato de adenosina mitocondrial proliferação celular e síntese protéica conforme (GONELLI *et al.*, 2016).

A acupuntura é baseada no princípio de Qi conhecida como força vital, energia que flui em vias energéticas ou canais no corpo chamados de meridianos humanos. Refere-se aos órgãos internos e suas condições fisiológicas e patológicas. A energia está na superfície do corpo através de várias séries de pontos que estão ligados aos meridianos o que possibilita o tratamento do alívio da dor abrangendo todo o corpo. O LASER de baixa potência foi adicionado em tratamentos por acupuntura com o objetivo de liberar neurotransmissores e outras substâncias, isto por apresentar uma maior condutibilidade elétrica, acarretando no aumento nas taxas metabólicas e na concentração de cálcio intracelular no citoplasma e aprimoramento das divisões celulares (REGINA; GERHARD; FRANK, 2013).

Em 1966, Paul Nogier, considerado o pai da Acupuntura Auricular, descobriu que o pulso da artéria radial apresenta uma reação para a estimulação auricular, no

qual chamou essa resposta de *Reflexe Auriculocardiaque* e passou a ser denominado Sinal Autônomo Vascular, do inglês *Vascular Autonomous Sign* (VAS) (TEIRLINCK *et al.*, 2018).

Na Europa, o VAS tornou-se um outro método usado para encontrar pontos auriculares reativos, os profissionais utilizam o pulso da artéria radial para sua detecção. (TEIRLINCK *et al.*, 2018)

Schindl *et al.* (1998) observou em pacientes portadores de diabetes submetidos a irradiação LASER vermelho durante nove dias consecutivos, que a densidade volumétrica dos capilares foi duas vezes maior que o grupo controle angiogênese serviria como fonte de nutrientes e oxigênio, além de reparação de células fibroblásticas e melhoria na cicatrização (BOLTON; YOUNG; DYSON, 1995)

A angiogênese tem sido alvo de inúmeras pesquisas na clínica oncológica, devido às propriedades angiogênicas de certos tumores a resposta circulatória, os estudos tem sido realizados em vasos maiores (aorta) necessitando de estudo in vivo para esclarecer sobre as alterações da microcirculação durante a aplicação da laserterapia (MAEGAWA *et al.*, 2000).

Diversificadas técnicas de tratamento para DTM, placa miorelaxante, medicamentos, fisioterapia além da FOTOBIMODULAÇÃO, que conforme Pessoa *et al* esta última tem sido uma das mais utilizadas pois favorece a vascularização, aumenta o suporte de nutrientes e aumenta o fluxo linfático promovendo redução da analgesia e a redução de edema na região mandibular, assim como o agulhamento seco (*dry needle* - DN) e a massagem facial(*facial massage* – FM) (PESSOA *et al.*, 2018).

3.2 TÉCNICA DE IRRADIAÇÃO INTRAVASCULAR COM TERAPIA ILIB

Esta técnica foi criada na Rússia como uma aplicação intradérmica e adaptada nacionalmente no INCOR consiste atualmente em uma irradiação transdérmica de um vaso ou artéria sanguínea no qual consegue-se produzir efeitos fotoquímicos que agem sistematicamente na produção da metaloenzima SOD Zn Cu e fotobiomoduladores tendo indicação para processos inflamatórios agudos e crônicos.

Consiste na aplicação contínua e direta de uma luz terapêutica com comprimento de onda vermelho na região da artéria radial com o intuito de promover

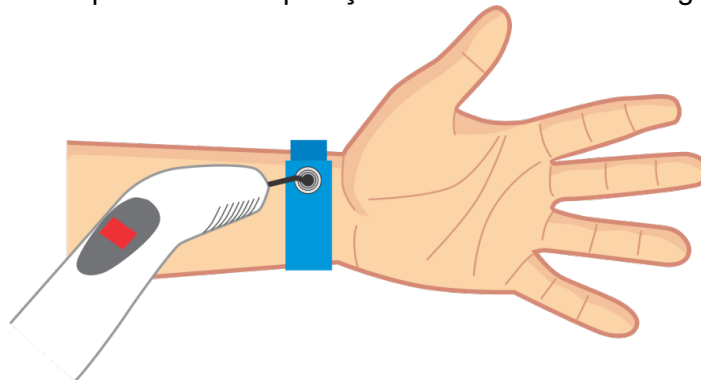
o combate aos radicais livres de oxigênio, também conhecido como efeito *antiaging* (CARVALHO; LEMÔNICA, 1998).

A técnica ILIB modificada promove uma fotobiomodulação não invasiva é utilizada diretamente na carótida externa com a presença de um marcador colar cervical proporcionando uma melhora nos tratamentos do sistema respiratório, melhora na saturação do oxigênio, alterações cardiovasculares; sistema circulatório periférico; melhora no quadro de tratamento da oncologia evitando o desequilíbrio da flora bucal e da função sensorial do paladar dos pacientes e melhora no quadro da diabetes (PACHECO, 2019).

O grande avanço da biologia molecular alcançado pela ação de fontes de luz sobre a fisiopatologia, tais como a utilização no reparo tecidual, representa uma resposta benéfica ao organismo. Estes resultados são alcançados desde que a técnica seja aplicada dentro de um correto protocolo pré-determinado, permitindo a interação com as organelas, sistemas plasmáticos e células beneficiadas na reparação. Fatores importantes a serem considerados são a característica do tecido, o tipo de aparelho utilizado e o comprimento de onda para produzir resultado eficiente (MEIRELES; SANTOS, 2010).

Os dispositivos marcadores para a aplicação da técnica ILIB atualmente comercializados como pulseiras têm dimensões reduzidas o que restringe a aplicação somente na região da artéria radial especificamente denominado na acupuntura como ponto P9 no qual se localiza na face anterior do punho, na prega de flexão mais distal com a margem lateral da artéria radial conforme esquema apresentado na figura 3.

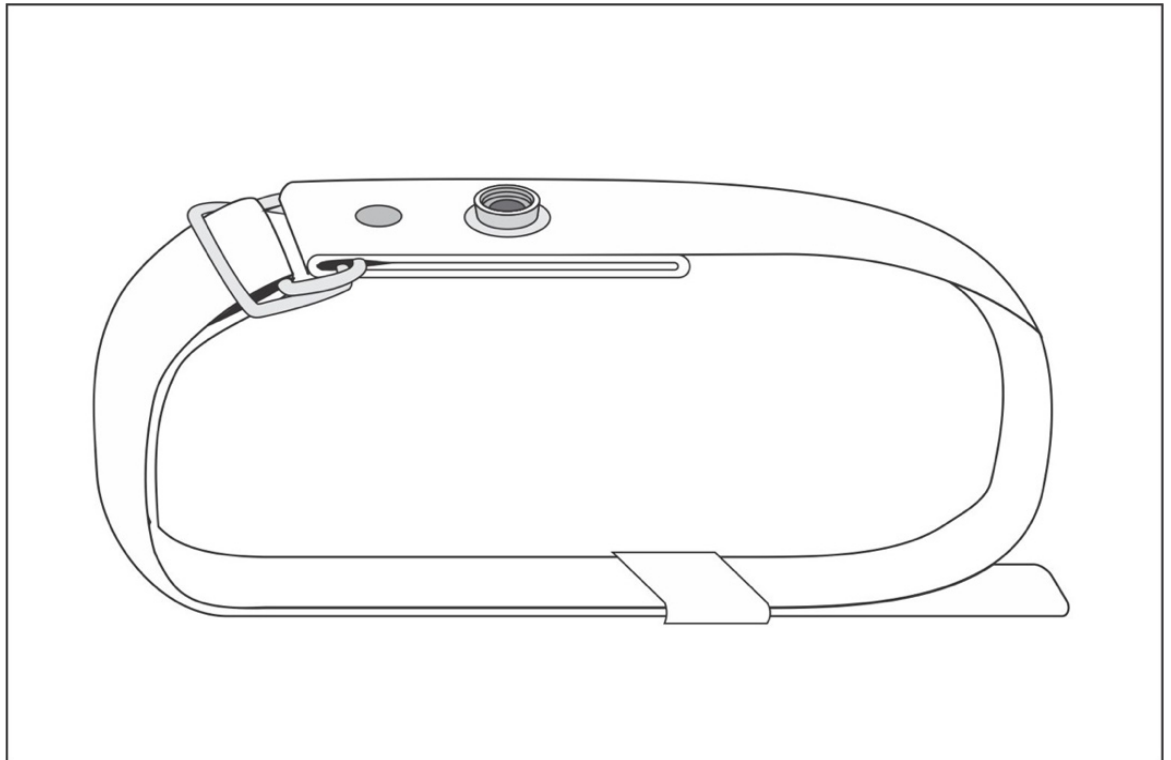
Figura 3 – Desenho esquemático da aplicação da Técnica ILIB na região radial



Fonte: O autor

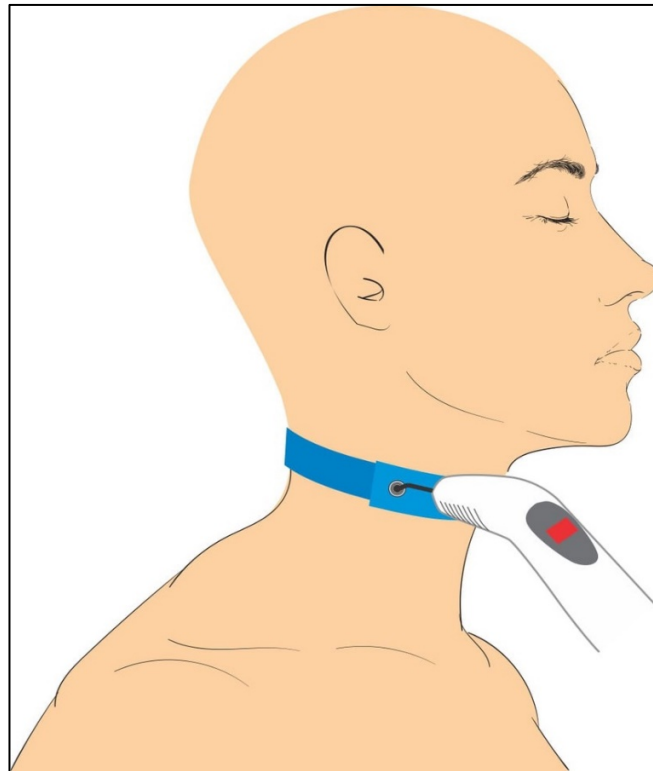
O dispositivo tipo marcador em forma de colar e/ou pulseira para diversas regiões do corpo para aplicação e utilização em aparelhos de laserterapia com potência de 5 mW 500mW recentemente desenvolvido possibilita a irradiação transdérmica em diversos acupontos da Medicina Chinesa conforme esquema apresentado na figura 4 e 5 .

Figura 4 - Desenho do marcador tipo colar cervical ou pulseira



Fonte: O autor

Figura 5 - Desenho do marcador colar e da técnica



Fonte: o autor

Com a visão da acupuntura sobre os pontos energéticos, e com base nas melhorias propostas pelos usuários, conforme informado pela empresa parceira neste trabalho, foi desenvolvido no IP&D - UNIVAP um protótipo de encaixe tipo espaçador que poderá ser utilizado nos marcadores em forma de colar e/ ou pulseira para utilização na região da carótida externa ou jugular, região inguinal, do poplíteo, da fáscia dos pés, braquial, femoral e veia umeral no qual proporcionará um melhor aproveitamento da luz vermelha para tanto facilitar quanto visualizar a aplicação correta da técnica em pacientes saudáveis e bem como imunossuprimidos.

3.3 Desenvolvimento de um produto e a seleção de materiais e processos

Para o desenvolvimento de um produto deve estar alinhado às necessidades do mercado e aos materiais e processos de fabricação que permitam a obtenção do resultado desejado.

No caso do desenvolvimento de um produto inovador, é necessário que o inventor tenha delineado as necessidades que o produto irá abranger ao consumidor final. No caso de uma melhoria de um produto existente, o desenvolvedor deve estar focado nas fraquezas que o produto comercializado oferece e com base nestas, basear seu desenvolvimento.

Para isso, o primeiro passo é a identificação da oportunidade, ou seja, identificar as necessidades de um determinado nicho do mercado. Para tanto deve-se coletar as informações pertinentes sobre as possíveis melhorias de um produto existente listá-las e analisar quais pontos devem ser melhorados. Nesta etapa ainda não se deve preocupar com o modo com o qual as melhorias serão implantadas. De posse destas informações, a etapa seguinte do desenvolvimento deve ser iniciada com a seleção dos materiais e processos que serão empregados para a fabricação deste produto.

A seleção de materiais e processos é uma etapa importante do desenvolvimento e compreende três estágios que devem ser cumpridos para a determinação do material adequado para o desenvolvimento do produto. O primeiro estágio trata-se da triagem dos materiais e listar o maior número de possibilidades de materiais que podem ser empregados. Neste estágio, deve ser empregado o conhecimento genérico dos materiais listados, não se deve utilizar dados numéricos tais como propriedades e características dos materiais ou mesmos custos de matéria prima.

Em um segundo estágio, será realizado o desenvolvimento e a comparação das alternativas previamente listadas, para isto deve elencar as propriedades e características importantes do material que atendam a fabricação deste produto. Por fim, um estudo sistemático e a análise criteriosa destas propriedades leva a exclusão das possibilidades que por algum motivo não atendam os requisitos do produto.

Realizada a seleção do material, deve-se sistematicamente, analisar as possibilidades de processamento deste material e de maneira similar ao realizado para a seleção do material apropriado e determinar-se o processo produtivo adequado que alinhe as propriedades mecânicas esperadas, custo e benefício para a produção em larga escala (FRANG, 2002; ASHBY, 2010).

4 JUSTIFICATIVA DO MÉTODO ESCOLHIDO

A escolha da metodologia empregada por Ashby e seus colaboradores é adequada pois avalia as necessidades do produto final e elenca a partir das propriedades o material que cumpre as exigências esperadas. Esta análise é pautada em dados compilados em banco de dados mundialmente reconhecidos (ASHBY, 2010).

4.1 Descrição dos instrumentos e técnicas para compaginação das informações

Para a realização das etapas supracitadas, foram utilizados os mapas de propriedades listado pelo desenvolvedor do método e com base nestas informações, análise criteriosa dos requisitos dos materiais foram elencados e selecionados os materiais adequados.

A exclusão de cada um dos materiais listados como promissores está intimamente relacionada a ao menos um não cumprimento de requisitos.

As etapas de seleção dos materiais e processos são discutidas neste capítulo.

1º Estágio: Triagem inicial

Com base nos relatos obtidos da empresa **Instituto Renovari Academic Laser School** elencou-se os pontos que devem ser combatidos e os pontos onde o produto deve ser mantido ou melhorado. Estes requisitos estão apresentados na Tabela 1 onde os pontos que devem ser combatidos estão elencados como “requisitos que devem ser cumpridos” e os pontos onde o produto deve ser mantido ou melhorados estão elencados como “requisitos a ser mantidos ou melhorados”.

Tabela 1 – Requisitos de projeto.

| Requisitos que devem ser cumpridos | Requisitos a ser mantidos ou melhorados |
|--|--|
| Oxidação do dispositivo | Autoclavagem |
| Aquecimento do dispositivo durante o uso | Resistência à temperatura |
| Quebra do dispositivo durante o uso | Resistência à pressões |
| Perda ou/e desgaste de partes do dispositivo | Conforto ao usuário |
| | Colimação do feixe de LASER |

Fonte: O autor

Com intuito de reduzir o universo de materiais disponíveis para a análise para a referida aplicação, inicialmente, buscou-se analisar as classes dos materiais, para que fosse determinada aquela que atende aos requisitos listados na Tabela 1.

Como busca-se reduzir a oxidação da peça e evitar o aquecimento do dispositivo durante o uso do equipamento de ILIB em contato com o paciente em tratamento, as classes de materiais que se adequam a esta aplicação são os materiais cerâmicos e materiais poliméricos.

Ambos possuem baixa condutividade, no caso dos polímeros esta baixa condutividade térmica está baseada na ausência de portadores de carga para a condução, seja ela elétrica, seja térmica. Fato que em conjunto com a estrutura desta classe de materiais ser ordenada a curto alcance (ordenação na escala molecular) pela existência de ligações covalentes fortes formadoras das cadeias poliméricas que são unidas para a conformação dos materiais por meio de ligações fracas de segunda ordem, as quais são facilmente rompidas pelo fluxo de calor em sua estrutura amorfa. Esta característica impede que a transferência de calor nestes materiais possa ocorrer por vibração destas moléculas.

No caso das cerâmicas, estes materiais são considerados isolantes devido à suas características químicas, ligações iônicas, que são estáveis e não permitem a permeabilidade de portadores de carga além de apresentarem rigidez microestrutural devido à força de suas ligações químicas o que impossibilita que a condutividade térmica seja realizada por meio de vibrações e transferência de energia vibratória através da rede cristalina. Ademais, os materiais cerâmicos possuem, em sua maioria, a presença de poros interconectados e abertos em sua estrutura, o que age como um isolante pois não permite a transferência de calor por condução, sendo este o mais eficiente dentre os métodos possíveis.

Os processos oxidativos dependem fortemente das espécies químicas formadoras dos materiais e dos tipos de ligação que os elementos realizam para a composição de uma estrutura. A oxidação é definida como um processo de perda de elétrons por um átomo durante uma reação química, o caráter estável das ligações químicas formadoras dos materiais poliméricos e cerâmicos reduz a probabilidade de oxidação destes materiais.

Como busca-se reduzir os danos por fratura dos dispositivos marcadores, é necessário que estes sejam produzidos em materiais que possuam resistência ao impacto e à queda. Assim, devido ao caráter frágil das cerâmicas, devido a sua baixa resistência ao impacto resultado de suas ligações químicas típicas e a presença de vazios em sua estrutura, as classes de matérias que mais se adequam a este requisito são os materiais poliméricos e metálicos.

A classe dos materiais metálicos possui boa resistência ao impacto devido à sua rede cristalina ordenada, que permite a absorção e transferência das cargas aplicadas através de vibrações das ligações químicas formadoras do cristal. Além disto a característica policristalina destes materiais implica na existência de barreiras mecânicas na escala atômica para o caminho de crescimento de uma trinca de fratura, que pode ter sua extremidade plasticizada na região de contornos de grãos. Outros defeitos cristalinos inerentes dos materiais metálicos, tais como vacâncias, soluções sólidas e discordâncias podem colaborar para o impedimento do caminho de propagação de uma trinca e serem ainda responsáveis pela absorção de energia de impacto buscando sua estabilidade energética.

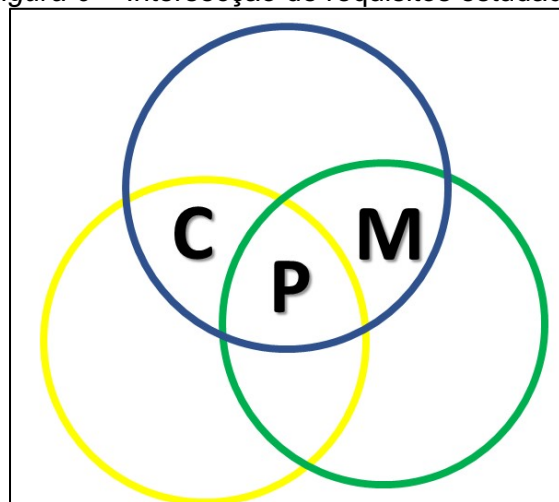
Já a classe dos materiais poliméricos, por possuir, estrutura amorfa, apresenta elevada resistência ao impacto devido ao seu comportamento mecânico visco-elastoplástico que permite a movimentação de suas cadeias poliméricas como um fluido newtoniano. Com a aplicação de carregamento, como por exemplo o que ocorre com a energia de impacto, nestes materiais inicialmente as cadeias poliméricas tendem a se organizar, alinhando-se na direção do carregamento aplicado e em um segundo estágio, estas cadeias deformam-se. Estes mecanismos ocorrem simultaneamente, porém grande quantidade de energia deve ser empregada e de maneira pontual para a ruptura catastrófica destes materiais por impacto.

Para que possam ser cumpridos os requisitos de suportar temperatura e pressão necessários para o processo de autoclavagem, as classes de materiais que podem atender são os materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos.

As três classes de materiais atendem as temperaturas e pressões aplicadas no processo de autoclavagem de materiais para uso em medicina e odontologia que não costumam ultrapassar 150 °C e 4 atm (~400kPa).

A Figura 6 apresenta a intersecção dos requisitos estudados, o círculo amarelo está relacionado à discussão realizada com relação à oxidação e ao aquecimento do dispositivo marcador, o círculo verde está relacionado à discussão no que tange à resistência ao impacto que o dispositivo marcador precisa atender e por último o círculo azul, relaciona-se aos requisitos de autoclavagem, onde foram estudados os parâmetros de temperatura e pressão empregados em autoclaves de uso médico e odontológico visando a biossegurança dos equipamentos.

Figura 6 - Intersecção de requisitos estudados



Fonte: O autor

A letra “P” refere-se à classe de materiais poliméricos, a letra “C” à classe de materiais cerâmicos e a letra “M” à classe de materiais metálicos.

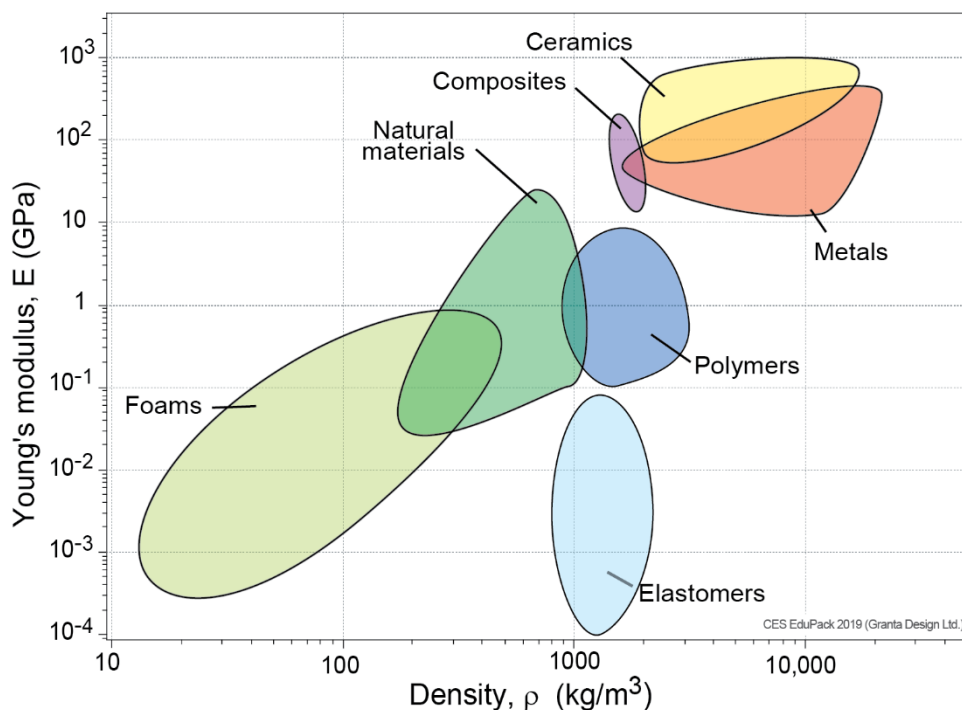
Como observado a intersecção destes conjuntos nos mostra que os materiais poliméricos são a única classe que atende à todos os requisitos da aplicação do dispositivo colimador para o marcador.

Ademais, considerando o apresentado pela Figura 7 onde está mostrado o mapa de propriedade que relaciona o módulo de elasticidade (módulo de Young) com a densidade do material. Esta propriedade intrínseca do material mede a rigidez deste quando exposto a carregamentos mecânicos. Deste modo, pode-se relacionar os valores mais baixos de módulo de elasticidade com o aumento na maleabilidade do material, quando analisada com relação à resistência ao impacto, conforme discutido

anteriormente, a capacidade do material em absorver os carregamentos impostos sem que ocorra a ruptura catastrófica por impacto é devido à acomodação de cargas em sua estrutura química.

Nesta imagem, observa-se que a classe dos materiais poliméricos apresenta módulos de elasticidade inferiores quando comparados aos materiais metálicos o que corrobora com a escolha desta classe de materiais para a produção dos dispositivos colimadores.

Figura 7 - Mapa de Propriedades Módulo de Elasticidade *versus* Densidade



Fonte: adaptado de CES Edu Pack 2019 (Granta Design Ltda.)

Fatores listados tais como perdas de partes do dispositivo, conforto ao usuário e colimação do feixe de LASER são características que serão consideradas no processo de design do dispositivo marcador e processamento do produto.

Com base na análise preliminar realizada, e a convergência para a classe dos materiais poliméricos, uma lista destes materiais foi levantada como possíveis para a confecção do dispositivo marcador. Esta lista está apresentada na Tabela 2, onde os polímeros apresentados tratam-se de materiais termoplásticos.

Tabela 2 – Polímeros pré-selecionados

| Material | Sigla |
|---|-------|
| Policarbonato | PC |
| Polimetacrilato de Metila | PMMA |
| Polietilenotereftalato | PET |
| Poliestireno | PS |
| Polipropileno | PP |
| Polietileno | PE |
| Poliamidas (Nylon [®]) | PA |
| Polieter-eter-cetona | PEEK |
| Politetrafluoroetileno (Teflon [®]) | PTFE |
| Acrilonitrilo-butadieno-estireno | ABS |
| Policloreto de vinila | PVC |

Fonte: o autor

A escolha dos materiais termoplásticos é devido à sua facilidade de processamento e reciclagem, pois esta classe de materiais poliméricos permite que seja realizada a re-fusão e consequente re-processamento. Além de apresentarem mais baixos módulos de elasticidade devido à ausência de ligações cruzadas (*cross links*) entre suas cadeias.

Estes polímeros elencados serão avaliados com base em suas características utilizando-se dos mapas disponíveis nas obras de Ashby (ASHBY, 2010).

2º Estágio: Propriedades e Características

A análise das características e propriedades dos materiais serão avaliadas por meio dos gráficos de mapas de materiais disponíveis no site da GRANTA e por meio de listagem de propriedades obtidas a partir de pesquisa na literatura, livros e handbooks. As propriedades a serem analisadas para o cumprimento dos requisitos do produto em desenvolvimento foram:

- Densidade (ρ)
- Resistência Mecânica (σ)
- Módulo de Young (E)
- Elongação (ϵ)
- Condutividade Térmica (κ)

- Coeficiente de expansão térmica (α)
- Temperatura de Fusão/amolecimento (T_m)

3º Estágio: Análise Criteriosa dos Dados Compilados

Neste estágio, os valores de propriedades obtidos nas pesquisas realizadas, assim como nos mapas disponibilizados gratuitamente pela GRANTA DESIGN serão utilizados para analisar as possibilidades e descartar os materiais que não se enquadram para tal aplicação.

Os valores encontrados nestas pesquisas estão apresentados de forma compilada na

Tabela 3.

Os gráficos são uma ajuda na visualização e no desenvolvimento criativo do processo de seleção, não sendo uma fonte de dados numéricos precisos que permitam uma análise criteriosa durante o processo, assim, as tomadas de decisão foram realizadas por método comparativo dos valores de propriedades apresentados na

Tabela 3 em conjunto com os dados apresentados nos gráficos de mapas de materiais.

Tabela 3–Propriedades dos materiais pré-selecionados

| | ρ (g.cm ⁻³) | σ (MPa) | E (GPa) | ϵ (%) | T_m (°C) | α (.10 ⁻⁶ K) | κ (W.m ⁻¹ .K) |
|------|---------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|---------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| PC | 1,2 | 70 – 90 | 2,1 – 2,4 | 100 – 200 | 151 | 75 – 80 | 0,19 – 0,20 |
| PMMA | 1,17 – 1,20 | 55 – 75 | 2,5 – 3,3 | 3 – 5 | 100 | 90 – 110 | 0,16 – 0,25 |
| PET | 1,29 – 1,40 | 50 | 3,0 | 50 – 300 | 245 – 260 | 80 – 100 | 0,24 |
| PS | 1,04 – 1,05 | 30 – 60 | 2,4 – 3,2 | 1 – 4 | 75 | 50 – 70 | 0,14 – 0,18 |
| PP | 0,90 – 0,91 | 30 – 40 | 1,1 – 2,0 | 100 – 600 | 160 – 165 | 130 – 180 | 0,17 – 0,25 |
| PE | 0,92 – 0,93 | 7 – 17 | 0,14 – 0,30 | 200 – 900 | 100 – 115 | 400 | 0,30 – 0,34 |
| PA66 | 1,13 | 80 | 3,0 | 50 – 120 | 225 – 265 | 35 – 45 | 0,22 – 0,33 |

| | | | | | | | |
|-------------|----------------|-------------|-----------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| PEEK | 1,32 | 90 – 120 | 3,6 | 50 | 335 – 345 | 50 – 70 | 0,25 |
| PTFE | 2,15 – 2,20 | 7 – 30 | 0,41 | 200 – 400 | 325 – 330 | 100 – 150 | 0,23 – 0,25 |
| ABS | 1,03 – 1,06 | 30 – 50 | 2,0 – 2,8 | 15 – 30 | | 80 – 100 | 0,15 – 0,20 |
| PVC | 1,32 – 1,58 | 40 – 75 | 1,0 – 3,5 | 30 – 80 | 273 | 60 – 120 | 0,13 – 0,20 |
| PEAD | 0,84 – 0,97 | 20 – 40 | 0,7 – 1,4 | 100 – 1000 | 125 – 135 | 200 – 250 | 0,33 – 0,53 |

Os gráficos utilizados do CES Edu Pack são compostos por bolhas que estimam as propriedades de diversos materiais e as correlaciona com outras propriedades, estes são dados aproximados que auxiliam na predição inicial das propriedades de cada classe, mas vale ressaltar que as propriedades dos materiais, dependem fortemente de outros fatores tais como, método de obtenção, parâmetros de conformação e características ambientais, tais como atmosfera, pressão e temperatura.

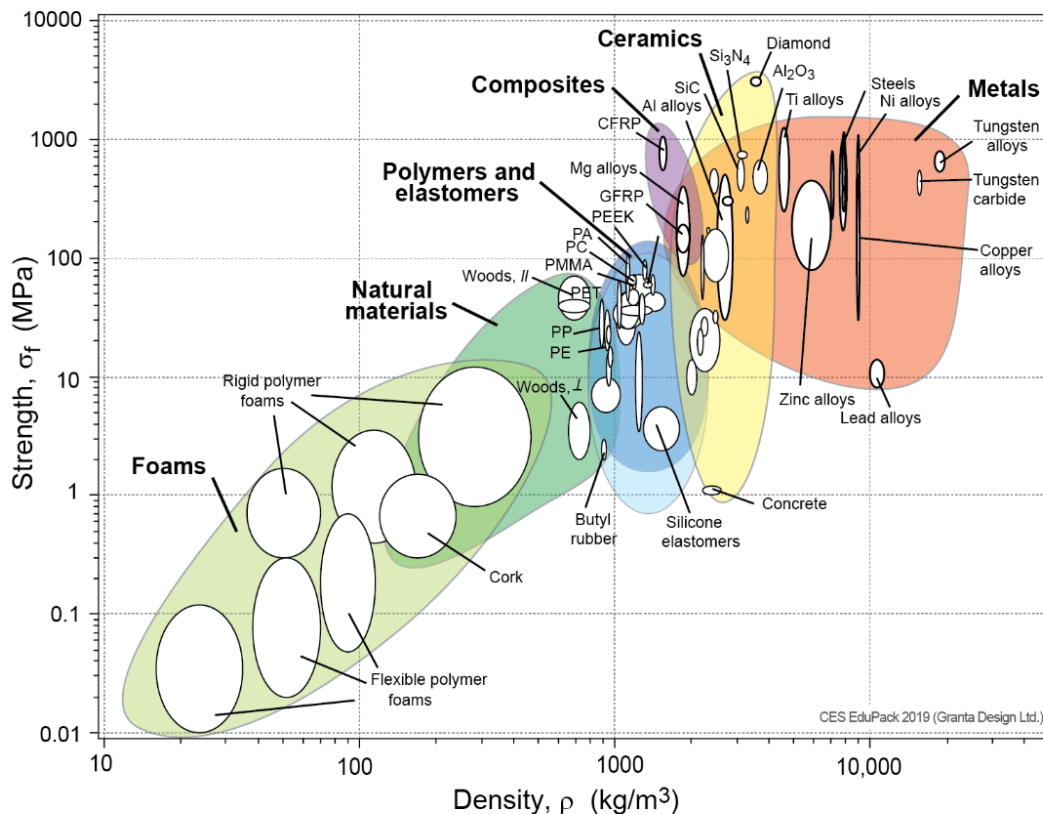
No interior destas bolhas, ainda são delimitadas pequenas regiões que se relacionam com tipos específicos de materiais. Com base nas posições e localizações destas bolhas pode-se identificar as melhores possibilidades dos materiais a serem aplicados em um projeto.

Assim, analisando as características mecânicas dos materiais poliméricos apresentadas na Figura 8, onde estão apresentadas as relações de resistência mecânica *versus* densidade do material, observa-se que como o esperado a classe dos polímeros, bolha marcada em azul, que estes materiais possuem resistência mecânica e densidade inferiores às outras classes de materiais inicialmente consideradas para o projeto, metálicos e cerâmicos.

Observando em detalhe a bolha que representa os materiais poliméricos podemos identificar que a resistência mecânica específica é crescente para os materiais PE, PP, PET, PMMA, PC, PEEK, PA. Com base nestas informações o polímero mais indicado para reduzir os danos por fratura sob tensões trativas seriam a classe de poliamida (PA), onde neste projeto, considera-se o PA66, que é sintetizado a partir de uma copolimerização por condensação baseada em hexametilenodiamina e ácido adípico. Este material é importante para a indústria pois possuem elevada resistência mecânica, resistência ao impacto, excelente barreira ao

oxigênio além de possuir baixa toxicidade e elevada resistência a compostos químicos.

Figura 8 - Mapa de propriedades Resistência *versus* Densidade



Fonte: adaptado de CES Edu Pack 2019 (Granta Design Ltd.)

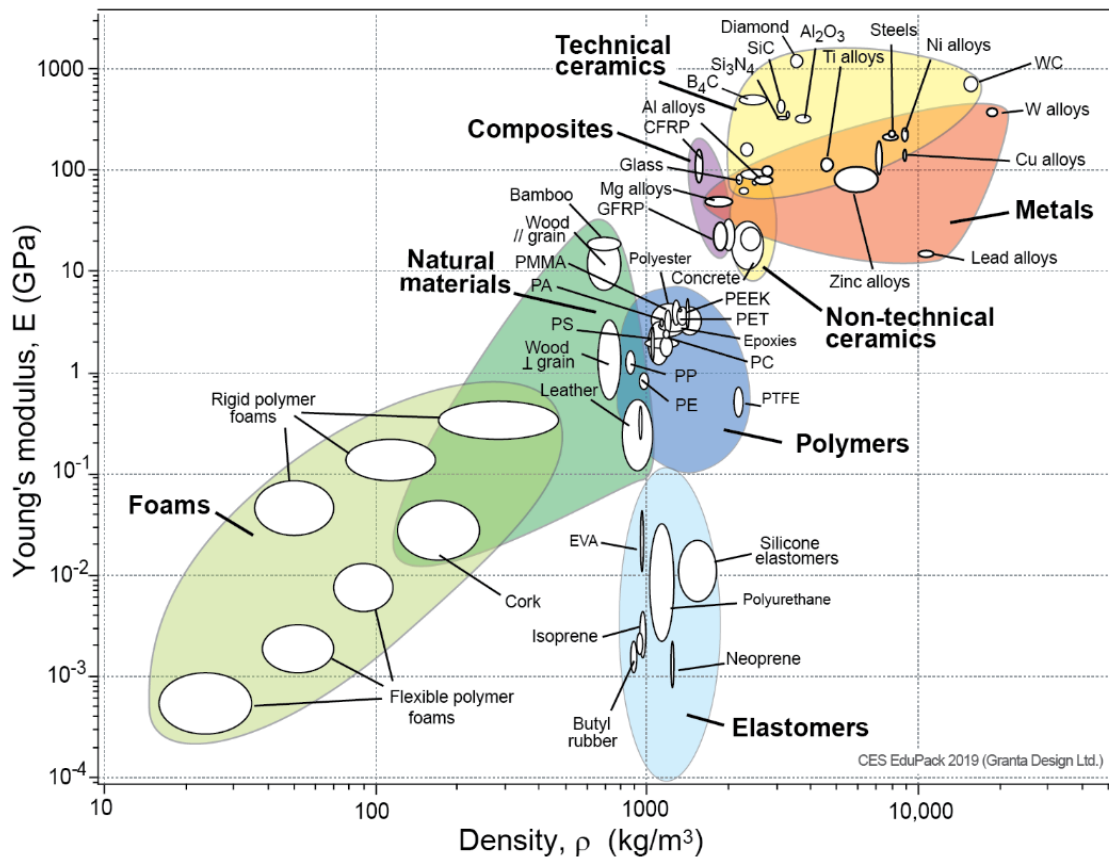
Analisando-se a resistência ao impacto, o mais adequado seriam os polímeros que possuem menores resistências mecânicas específicas e conseqüentemente menores módulos de elasticidade.

O módulo de elasticidade de um material mede a rigidez deste material, e está relacionado à energia que o mesmo absorve quando sobre carregamentos rápidos, tais como impactos repentinos (CANEVAROLO JUNIOR, 2002).

Realizando análise similar, comparando-se o mapa de propriedades que correlacionam o módulo de elasticidade *versus* densidade do material, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, observa-se que o politetrafluoretileno (PTFE) é o que apresenta menor módulo de elasticidade e maior densidade relativa, enquanto que o poli-éter-éter-cetona apresenta maior módulo de elasticidade e menor densidade relativa.

A densidade do material, nesta análise, expressa a massa final que a peça em desenvolvimento obterá após conclusão de seu processamento. No entanto, no referido projeto, onde o dispositivo marcador tem pequenas dimensões, a massa final da peça torna-se um parâmetro irrelevante, visto que a aplicação da técnica ILIB é realizada com o paciente em repouso e todo o aparato fica imóvel e apoiado em superfícies estáveis.

Figura 9 - Mapa de propriedades Módulo de Elasticidade *versus* Densidade



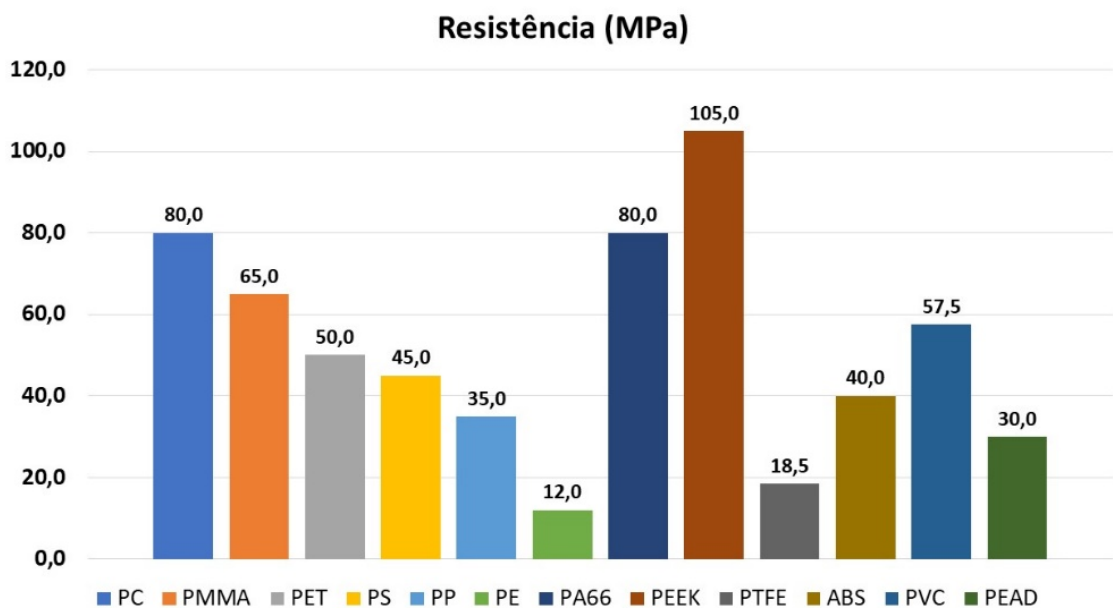
Fonte: adaptado de CES Edu Pack 2019 (Granta Design Ltda.)

Muitos dos polímeros inicialmente considerados não puderam ser identificados nos mapas disponibilizados gratuitamente pela GRANTA DESIGN, deste modo, analisou-se os valores de propriedades apresentados na

Tabela 3. Com base nestes dados foi plotado um gráfico comparativo com relação à resistência mecânica dos polímeros, figura 9, dos valores médios das propriedades de resistência dos polímeros considerados com a finalidade de facilitar a visualização e análise de tais informações.

Nele observa-se que o polímero PEEK (poli-éter-éter-cetona) possui a mais elevada resistência mecânica, quando comparado ao universo exposto no gráfico da **Erro! Fonte de referência não encontrada.** seguido do policarbonato (PC) e poliacrilato (PA66). Por outro lado, o aumento da resistência mecânica de um material pode acarretar em um aumento de sua rigidez, que pode ser comprovado quando comparado os valores de módulo de elasticidade apresentados na Tabela 3 e plotados em gráfico apresentados na Figura 10.

Figura 10 - Resistência Mecânica dos polímeros selecionados



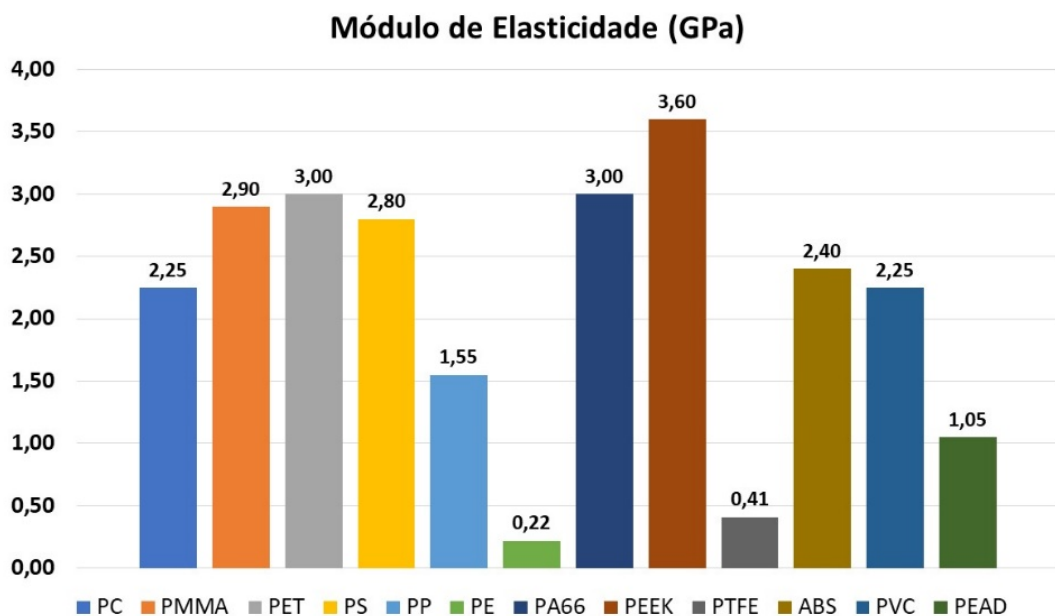
Fonte: O autor

Analisando os dados apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, observa-se que os polímeros que apresentam menores valores de módulos de elasticidade são polietileno (PE) e politetrafluoretileno (PTFE), com valores inferiores a 1,00 GPa. Os baixos valores de módulo de elasticidade do material, permitem que possuam maior flexibilidade, permitindo uma melhor adaptação da peça colimadora do feixe de LASER ao dispositivo marcador para ILIB, além da redução do risco de fratura por impacto.

Neste íterim, outros polímeros podem ser elencados como promissores para tal aplicação tais como o polietileno de alta densidade (PEAD) e o polipropileno (PP). Ambos apresentam baixo módulo de elasticidade.

Ao comparar estes quatro polímeros elencados, observa-se que as resistências mecânicas destes materiais são crescentes na seguinte forma, PE < PTFE < PEAD < PP.

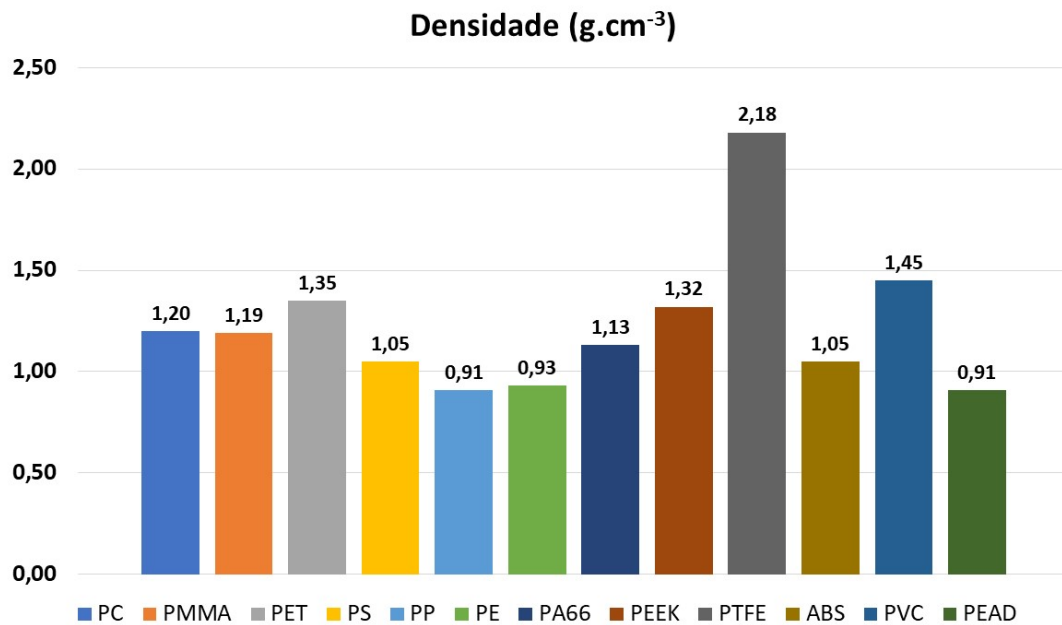
Figura 11 - Módulo de Elasticidade dos polímeros selecionados



Fonte: O autor

Comparando-se os dados numéricos de densidade, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, comprova-se que o polímero com maior densidade dentre os analisados é o politetrafluoretileno (PTFE), mas como já discutido, o fator massa total da peça não é limitante para a utilização destes polímeros.

Figura 12 - Densidade dos polímeros selecionados



Fonte: O autor

O aumento na densidade dos materiais poliméricos é definida a partir do seu grau de cristalinidade, ou seja, a maneira como cada macromolécula está disposta no sólido como um todo e está diretamente ligada à fórmula estrutural dos meros constituintes da macromolécula.

O caráter linear das cadeias de polietileno (PE) e polipropileno (PP) favorecem a movimentação browniana destas macromoléculas e a ausência de heteroátomos ou grupamentos/átomos laterais dificulta a aproximação das cadeias devido a interações eletrostática entre as macromoléculas o que resulta em uma menor cristalinidade destes materiais (CANEVAROLO JUNIOR, 2002).

Devido à presença dos grupos funcionais aminas nos meros de policarbonato (PC), poli-éter-éter-cetona (PEEK) e poliacrilato (PA66) a densidade destes polímeros tende a aumentar devido à interação intermolecular gerada pela aproximação eletrostática entre o oxigênio deste grupo radical e os carbonos presentes na cadeia vizinha.

Pelo mesmo motivo, a densidade do politetrafluoretileno (PTFE) é superior quando comparada aos demais polímeros em discussão, devido a presença de quatro átomos de flúor nos meros deste material. A densidade é aumentada, em relação aos polímeros com grupos funcionais cetona, pois a eletronegatividade do flúor é superior à eletronegatividade do oxigênio presente nos grupos cetona, deste modo, a força de atração intermolecular é superior quando ocorre a presença do flúor.

No caso dos polímeros lineares (PP e PE), a cristalinidade é gerada por aproximação planar das cadeias, enquanto nos demais polímeros em discussão, a cristalinidade é gerada pela aproximação espacial destas moléculas devido a interação intermoleculares.

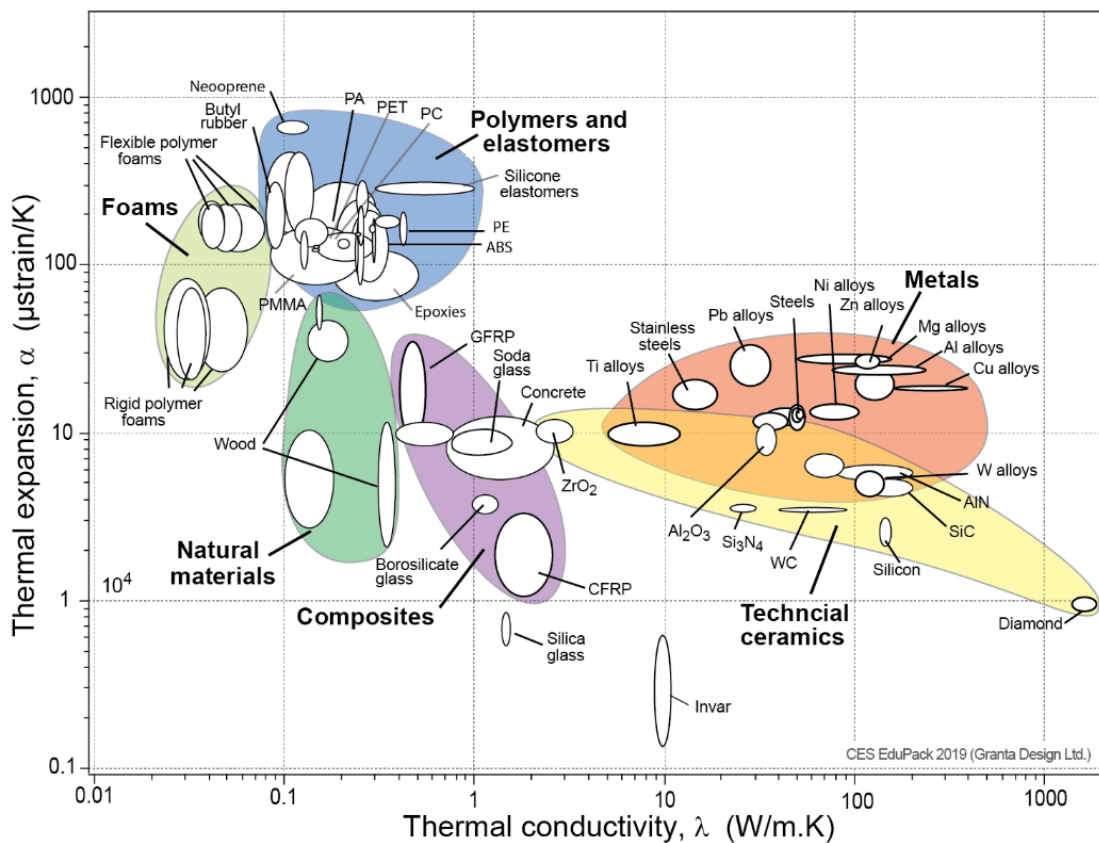
A maior densidade do material utilizado na produção do dispositivo marcador, não é relevante quando trata da questão peso do produto, conforme discutido anteriormente, porém a maior densidade sugere uma melhor estabilidade dimensional quando este material estiver exposto a pressões, como por exemplo no processo de autoclavagem. Isto pode ser explicado pela diminuição da movimentação das cadeias poliméricas devido a sua atração eletrostática intermolecular.

O processo de autoclavagem ainda submete a peça a elevadas temperaturas, em torno de 130 °C, assim o material a ser utilizado para a produção do dispositivo marcador para técnica ILIB deve ser capaz de suportar temperaturas acima de 130 °C sem que haja degradação tanto do material quanto da forma projetada, deste modo, a análise das propriedades de estabilidade térmica e expansão térmica são importantes.

Outra propriedade térmica importante de ser analisada é a condutividade térmica pois um dos requisitos buscados como melhoria do produto é o conforto do usuário que conforme relatado pela empresa parceira deste projeto, os dispositivos produzidos em material metálico sofriam aquecimento durante o procedimento de aplicação do LASER.

A figura 13 mostra o mapa de propriedades de Ashby (ASHBY, 2010) disponibilizado gratuitamente pela GRANTA DESIGN onde estão comparadas as propriedades de condutividade térmica *versus* expansão térmica.

Figura 13 - Mapa de Propriedades: Condutividade Térmica *versus* Expansão Térmica

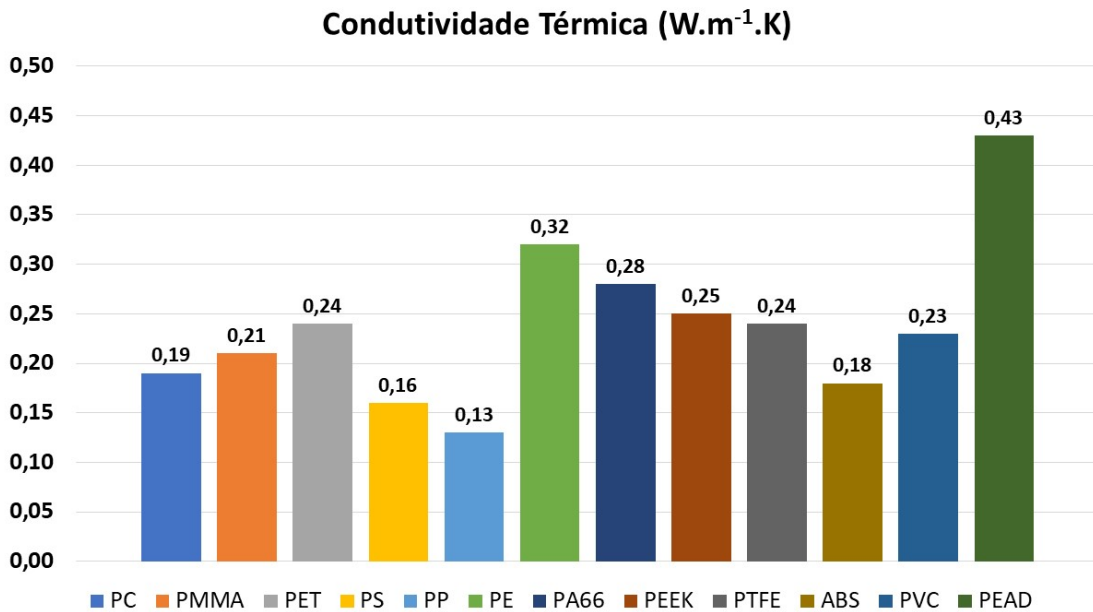


Fonte: adaptado de CES Edu Pack 2019 (Granta Design Ltda.)

No mapa apresentado, não foi possível identificar todos os polímeros que estão sendo analisados, porém apresenta que a condutividade térmica para os poliácridatos (PA66) e policarbonato (PC) são próximas enquanto que para o polietileno (PE) esta propriedade é superior. Com relação à expansão térmica, o polietileno (PE) e o policarbonato (PC) têm valores próximos e são os que apresentam menor valores desta propriedade dentre os três polímeros disponíveis para avaliação, enquanto que o poliácridato (PA66) sofre maior expansão quando exposto a temperatura.

Como citado anteriormente, para auxiliar e completar a avaliação das propriedades foi plotado um gráfico comparativo de condutividade térmica para os polímeros analisados com base em pesquisas bibliográficas realizadas, este gráfico está apresentado na Figura 14.

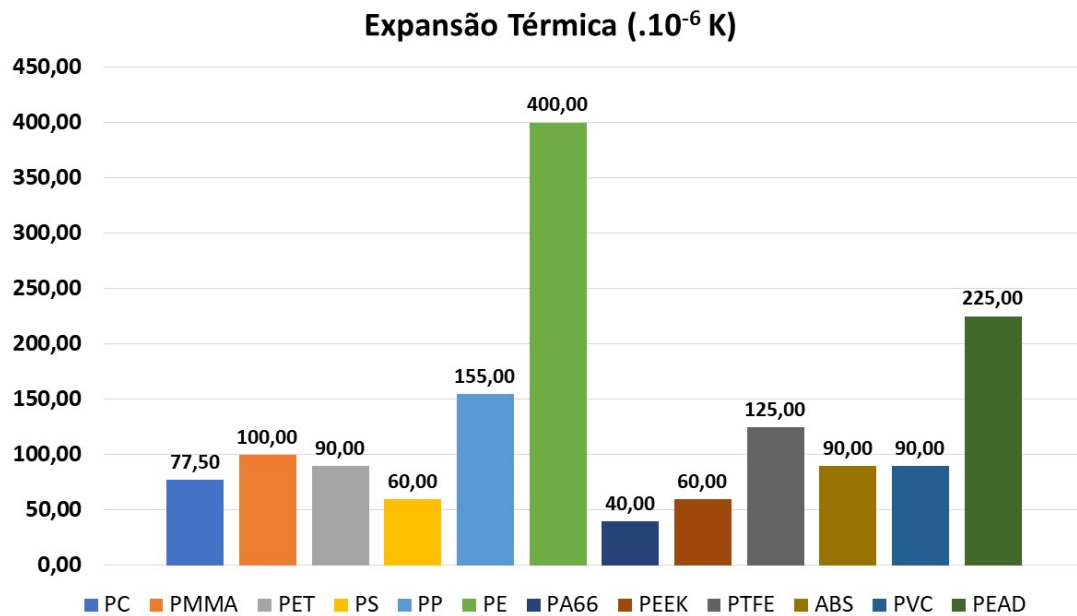
Figura 14 - Condutividade Térmica dos polímeros selecionados



Analisando os dados de condutividade térmica dos polímeros, apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, observa-se que dentre os avaliados, o que possui menor condutividade térmica é o polipropileno (PP) sendo esta propriedade crescente para os demais polímeros na seguinte ordem, policarbonato (PC), politetrafluoroetileno (PTFE), poli-éter-éter-cetona (PEEK), poliacrilato (PA66), polietileno (PE) e polietileno de alta densidade (PEAD).

Do mesmo modo as análises foram realizadas considerando-se a propriedade de expansão térmica, com base nos dados apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Expansão Térmica dos polímeros selecionados

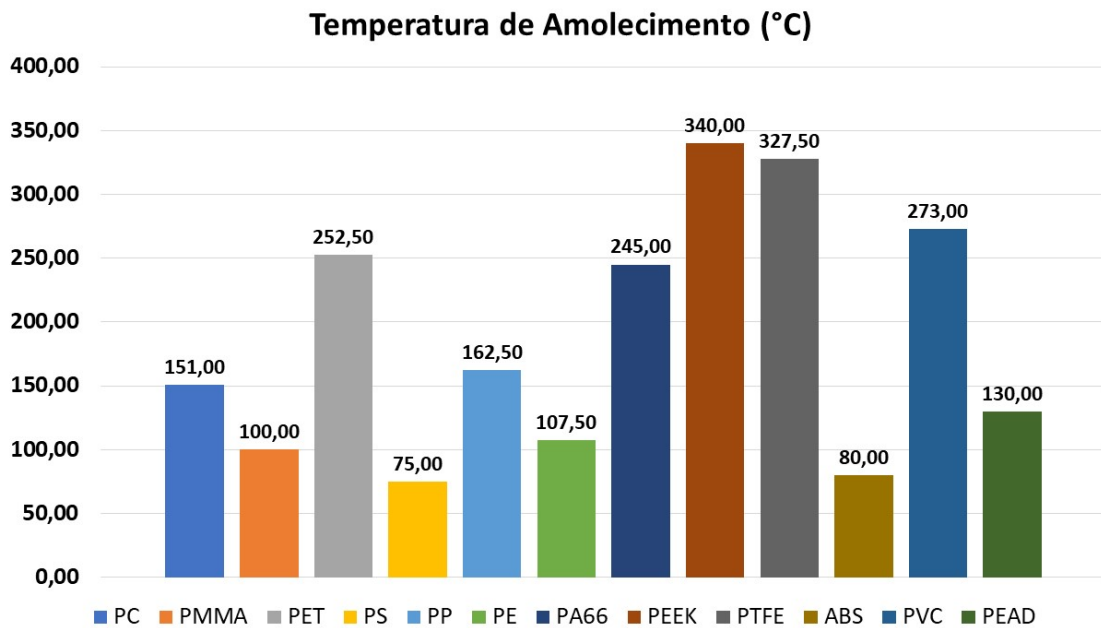


Na figura observa-se que esta propriedade é muito superior no polietileno (PE) e decaindo na seguinte sequencia polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP), politetrafluoretileno (PTFE), poli-éter-éter-cetona (PEEK) e sendo a menor, dentre os polímeros analisados, no poliacrilato (PA66).

Vale salientar que a expansão térmica é uma propriedade instantânea, ou seja, a expansão ocorre somente enquanto o material estiver exposto à temperatura, e retorna a sua forma real quando a fonte de calor é cessada, assim, não influencia fortemente na determinação do material, visto que o mesmo estará exposto a elevadas temperaturas somente durante o processo de autoclavagem.

A propriedade térmica preponderante para esta aplicação é a temperatura de amolecimento do material, que pode ser avaliada a partir da Figura16.

Figura 16 -Temperatura de Amolecimento dos polímeros selecionados

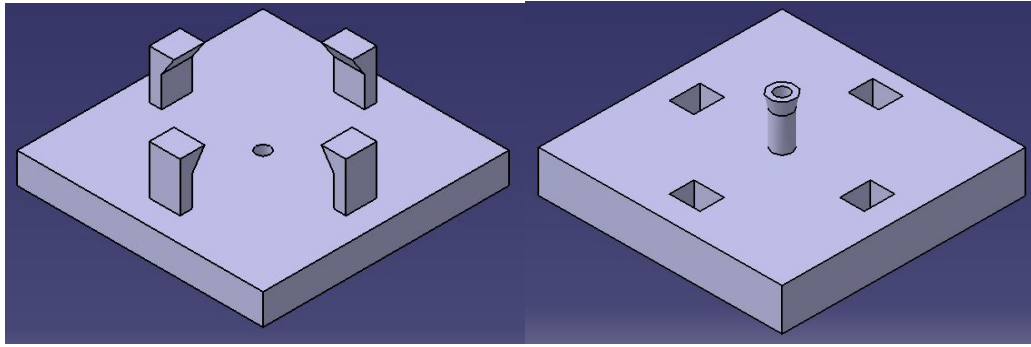


Com relação a temperatura de amolecimento dos polímeros estudados, os maiores valores encontram-se para o poli-éter-éter-cetona (PEEK) e para o politetrafluoretileno (PTFE), respectivamente, porém analisando-se os demais dados já abordados anteriormente, o poli-éter-éter-cetona (PEEK) não é recomendável visto sua baixa densidade específica (1,32 g.cm⁻³), elevado módulo de elasticidade (3,6 GPa).

Para atender os requisitos de melhoria na colimação do feixe LASER e evitar a perda de partes reduzidas foi desenvolvido novo design para o dispositivo marcador, que será composto por duas peças do tipo “macho” e “fêmea” que se encaixam perfeitamente sob pressão.

Imagem ilustrativa das peças do dispositivo marcador estão apresentadas na 17. Sendo a Figura17(a) a parte superior, onde será encaixado o bico da fonte de LASER, e a Figura17(b) a parte inferior que possui um furo passante que permite a propagação sem interferência do feixe de LASER.

Figura 17 - Imagem Ilustrativa 3D das peças



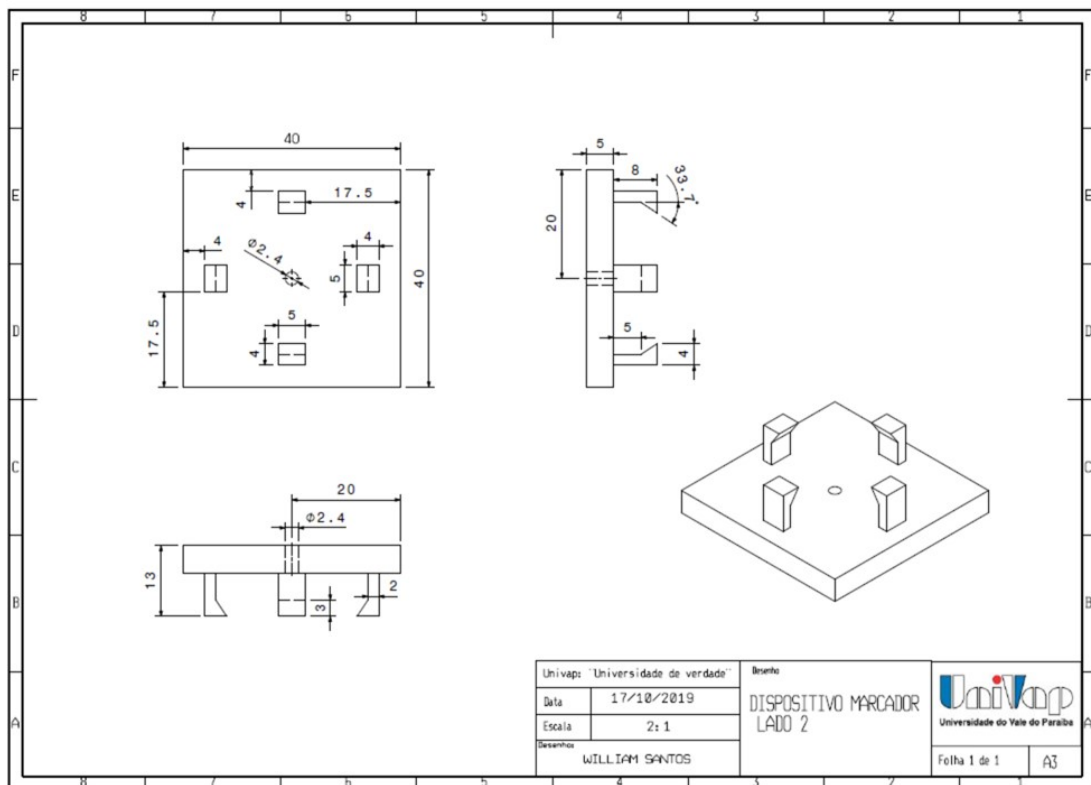
(a)

(b)

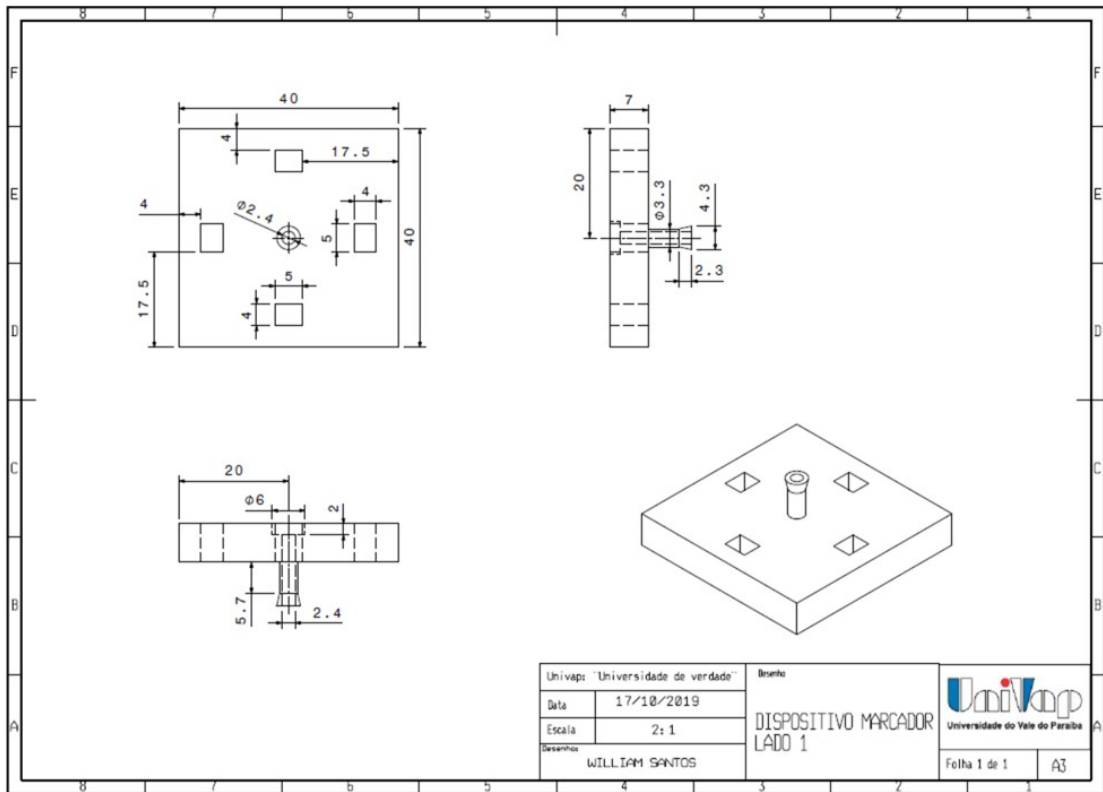
Fonte: O autor

As dimensões e características mecânicas e técnicas do dispositivo marcador estão apresentadas na Figura 18.

Figura 18 - Projeto detalhado da peça



(a)



(b)

Fonte: o autor

A Figura 18(a) mostra o projeto detalhado com dimensões da parte superior do dispositivo marcador enquanto a

Figura 18(b) mostra o projeto detalhado com dimensões da parte inferior do dispositivo marcador.

5 CONCLUSÃO E JUSTIFICATIVA DA AMOSTRA SELECIONADA

É importante salientar que a escolha do material deve ser realizada a partir da melhor composição de propriedades estudadas, assim, o que apresenta melhor condições para ser aplicado como material para a produção do dispositivo marcados para aplicação da técnica ILIB, após análise detalhada apresentada neste trabalho é o politetrafluoretileno (PTFE).

Este dispositivo poderá ser produzido a partir de processos de usinagem, modelagem por meio de impressão 3D ou moldagem por injeção.

Com as características definidas apresentadas no projeto mecânico detalhado da peça, a colimação do Laser será mais efetiva, pois este inovador dispositivo garantirá a permanência do bico colimador, que se encontra unido à peça e não como peça avulsa que deve ser acoplada a ponteira do Laser.

A possibilidade de autoclavagem deste dispositivo sem que ocorra danos por processos corrosivos garantirá maior biossegurança em clínicas de saúde .

A baixa condutividade térmica do PTFE garante que não haja transferência de calor do feixe de Laser para a pulseira e/ou colar cervical evitando assim o desconforto do paciente pelo aquecimento da região da aplicação de fotobiomodulação.

Em vista destas vantagens apresentadas, acredita –se que mesmo que haja acréscimo no custo final da peça , este será diretamente proporcional à satisfação dos clientes atendidos, uma vez que foi projetado a partir de relatos coletados pela empresa Instituto Renovari Academic Laser School.

O projeto está em fase de testes clínicos e seguirá para a etapa de depósito de patente para a produção em larga escala e comercialização no mercado nacional.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA-LOPES, A FIGUEIREDO, A .C .R. LOPES, A . O uso do laser terapêutico no tratamento da clínica odontológica, através da drenagem linfática. **Revista da Associação de Cirurgiões Dentista**, v 56,supl 27,2002.

ALMEIDA-LOPES, L.; LOPES, A. Técnica de drenagem linfática ativada por laserterapia. *In*: GONÇALVES, E. A. A. **Atualização Clínica em Odontologia**. São Paulo: Artes Médica, 2006. cap. 14.

ASHBY, M. **Materials Selection in Mechanical Design**. Butterworth-Heinemann: Oxford, 2010.

BAGNATO, S. V. **Novas técnicas ópticas para áreas da saúde**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

BOLTON, P.; YOUNG, S.; DYSON M. The direct effect of 860 nm light on cell proliferation and on succinic dehydrogenase activity of human fibroblasts in vitro. **Laser Ther.**, v. 7, n. 2, p. 55- 60, 1995.

BELLAND, P. Estudo Modo de LB, e as características do feixe de energia de um laser de guia de ondas. **J. Phys. D: Appl. Phys.**, v. 8, n. 18, p. 2113-2122, 1975.

CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Ciência dos Polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber, 2002.

CARVALHO, W. A.; LEMÔNICA, L. Mecanismos moleculares da dor inflamatória modulação periférica e avanços terapêuticos. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 48, n. 2, p. 137-158, 1998.

CES EDU PACK (Granta Design Ltda.) disponível em:
<https://www.grantadesign.com/education/students/>, acesso em outubro de 2019

FRANG, M. Quantitative Methods of Material Selection. *In*: KUTZ, M. **Mechanical Engineers' Handbook**. John Wiley & Sons, 2002.

GARCEZ, S.A. **Laser de Baixa Potência**: Princípios Básicos e Aplicações Clínica na Odontologia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

GONNELLI, F. A. S. *et al.* Laser de baixa potencia para prevenção de hipofluxo salivar em pacientes portadores de câncer de cabeça e pescoço após radioterapia e quimioterapia. **Radiologia Bras.**, v. 49, n. 2, 2016.

HOTTA, P.T. *et al.* Emg analysis after laser acupuncture in patients with temporomandibular dysfunction (TMD). **Implicat for practice. Comp Ther Clin Pract.**, v. 16, n. 3, p. 158–60, 2010.

KARU, T. Laser biostimulation: a photobiological phenomenon. **J Photochem Photobiol B.**, v. 3, n. 4, p. 638-40, 1989.

KARU, T.; PYATIBRAT, L.; KALENDU, G. Irradiation with He-Ne laser increases ATP level in cells cultivated in vitro. **J Photochem Photobiol B.**, v.27, n. 3, p. 219-223, 1995.

MAEGAWA, Y. *et al.* Effects of Near-Infrared Low-Level Laser Irradiation on Microcirculation. **Lasers in Surgery and Medicine**, v. 27, n. 5, p. 427-437, 2000

MEIRELES, G. C. S.; SANTOS, A. M. Mecanismos de ação da laserterapia sobre componentes do processo inflamatório. **C&D - Revista Eletrônica da Fainor**, v.3, n.1, p. 30-40, 2010.

MESTER, E.; SZENDE, B.; GARTNER, P. The effect of laser beams on the growth of hair in mice. **Radiobiol Radiother (Berl)**, v. 9, n. 5, p. 621-6, 1968.

OLIVEIRA, KDCM. **Eficácia da laserterapia e laseracupuntura no tratamento de parestesia em pacientes submetidos à cirurgia de implantes e extração de terceiros molares inferiores.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, R. F. *et al.* Influence of electroacupuncture and laser-acupuncture on treating paresthesia in patients submitted to combined orthognathic surgery and genioplasty. **Med Acupunct** [Internet], v. 29, n. 5, p. 290–9, 2016.

PACHECO, J. A. Aplicação transdérmica Photobiomodulador da Terapia Sob o Artéria primária carótida em pacientes sob hormonais Bloqueadores e Transtornos Dynude e patogênica Flora de orofaríngeo e repercussões sistêmicas. **Am J Biomed Sci & Res.**, v. 4, n. 4, 2019.

PESSOA D. R. *et al.* Associação entre massagem facial agulhamento a seco e laserterapia no tratamento da disfunção temporomandibula: relato de caso. **CoDAS**, v.30, n. 6, 2018.

REGINA, R.; GERHARD, L.; FRANK, B. Frank Bahr Grupo de Pesquisa “Auriculomedicine e Pharmacopuncture”, Unidade de Pesquisa Stronach for Complementar e Medicina Integrativa Laser, Unidade de Pesquisa de Engenharia Biomédica, Anestesia e Medicina Intensiva, e o TCM Research Center Graz, Universidade Médica de Graz, Auenbruggerplatz 29, 8036 Graz, Áustria 2 Academia Europeia de TCM, 81245 Munique, Alemanha Hindawi Publishing Corporation Baseada em Evidências Medicina Complementar e Alternativa, v. 2013, n. 984763, p. 1- 22, 2013.

RIBEIRO, M. S.; GARCEZ, A. S.; NÚÑEZ S.C. Mecanismos da Terapia Laser de Baixa Potência *In*: RIBEIRO, M. S.; GARCEZ, A. S.; NÚÑEZ S.C. **Laser de Baixa Potência princípios básicos e aplicações clínicas na Odontologia.** [s.]: Elsevier 2012,

SCHINDL, M. *et al.* Low intensity laser irradiation improves skin circulation in patients with diabetic microangiopathy. **Diabetes Care**, v. 21, p. 580-4, 1998.

SOUZA, N.H.C. *et al.* Effect of low –level therapy on the modulation of the mitochondrial activity of macrophages. **Braz. J. Phys. Ther.**, v.18, n.4, 2014

TEIRLINCK, E. *et al.* Laser-induced vapour nanobubbles improve drug diffusion and efficiency in bacterial biofilms. **Nature Communication**, v. 9, n. 4518, 2018.

VLADIMIROV, Yu. *et al.* Radicais livres em sistemas vivos no avanço na ciência e tecnologia. **Biofisica**, v. 29, 1992.

WEBER, M. J. **Manual de comprimentos de onda do laser**. [s.]: CRC Press, 1999.