

Relatório Final De Estágio

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Utilização do Laser de Baixa Intensidade na Reparação de Tecidos Orais

Luís Diogo Almeida Vieira

Orientador:

Mestre Ana Sofia Vinhas

Gandra, 2019

Declaração de Integridade

Eu, **Luís Diogo Almeida Vieira**, estudante do Curso de Mestrado Integrado em Medicina Dentária do Instituto Universitário de Ciências da Saúde, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste Relatório Final de Estágio intitulado: **“Utilização do Laser de Baixa Intensidade na Reparação de Tecidos Orais”**.

Confirmo que, em todo o trabalho conducente à sua elaboração, não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em parte dele).

Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores, pertencentes a outros autores, foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo, neste caso, colocado a citação da fonte bibliográfica.

Relatório apresentado no Instituto Universitário de Ciências da Saúde

Orientador: Mestre Ana Sofia Vinhas

Aceitação do Orientador

Eu, **Ana Sofia Vinhas**, com a categoria profissional de Assistente Convidada do **Instituto Universitário de Ciências da Saúde**, tendo assumido o papel de **Orientadora** do Relatório Final de Estágio intitulado **“Utilização do Laser de Baixa Intensidade na Reparação de Tecidos Orais”**, do aluno do Mestrado Integrado em Medicina Dentária, **Luís Diogo Almeida Vieira**, declaro que sou de parecer favorável para que o Relatório Final de Estágio possa ser presente ao Júri para admissão a provas conducentes à obtenção do Grau de Mestre.

Gandra, 26 de setembro de 2019

O Orientador,

(Ana Sofia de Abreu Fernandes Vinhas)

Agradecimentos

À minha mãe, pelo bondade, carinho, amor e força inesgotável que transmite à minha vida.

Ao meu pai e ao meu irmão, pelo apoio e segurança, amor e gargalhadas que me dão.

Aos meus avós, por me apoiarem sempre que necessitei e pelo amor e força que transmitem.

Ao meu querido avô, por ser o exemplo que procuro seguir ao longo da minha vida e que mesmo lá em cima está sempre comigo.

Ao professor António Angeja, por todo o conhecimento que me transmitiu e pela inspiração para concluir esta etapa.

Aos amigos que conheci neste caminho, por todos os momentos, apoio e alegrias passados juntos nestes 5 anos. Levo-os para a vida.

À professora Ana Sofia Vinhas, minha orientadora, pela sua disponibilidade, sabedoria e dedicação durante a elaboração deste trabalho.

A todos os professores, fundamentais na minha formação, agradeço toda a partilha de conhecimento, boa disposição e dedicação.

Índice Geral

Capítulo I “Utilização do Laser de Baixa Intensidade na Reparação de Tecidos Orais”	1
I. Introdução	1
II. Objetivo	2
III. Materiais e Métodos	2
IV. Fundamentação Teórica	3
4.1. Terapia Laser de Baixa Intensidade: Retrospectiva Histórica e Conceitos Básicos	3
4.2. Definição de Laser	4
4.2.1. Componentes do sistema laser	4
4.2.2. Interação do laser com o tecido biológico.....	5
4.3. Cálculo da Dose.....	6
4.4. Classificação dos Lasers.....	8
4.4.1. Potência	8
4.4.2. Comprimento de onda	9
4.4.3. Modo de emissão	9
4.4.4. Lasers mais utilizados na LLLT.....	9
4.4.5. Riscos e parâmetros de segurança na utilização de laser	10
4.5. Mecanismo da Ação da LLLT na Reparação Tecidular.....	10
4.5.1. Processo de Reparação	10
4.5.2. Mecanismos Moleculares do LLLT	11
4.5.3. Mecanismos Celulares	14
4.6. Outros Efeitos da LLLT	16
4.7. Aplicações Clínicas da LLLT	17
4.7.1. Aplicações em Tecidos Moles.....	17
4.7.2. Aplicações em Tecidos Duros	19
4.7.3. Exemplos de outras aplicações.....	20
4.8. Vantagens e Desvantagens da LLLT	20
V. Conclusão	22
VI. Bibliografia	23
VII. Anexos do Capítulo I	28
Capítulo II Relatório das Atividades Práticas das Unidades Curriculares de Estágio ...	32
I. Relatório Final dos Estágios	32

Índice de Figuras e Tabelas

Figuras:

Figura 1.....	5
Figura 2.....	5
Figura 3.....	30
Figura 4.....	12

Tabelas:

Tabela 1.....	30
Tabela 2.....	9
Tabela 3.....	9
Tabela 4.....	31
Tabela 5.....	32
Tabela 6.....	33
Tabela 7.....	34

Resumo

Os lasers têm desempenhado um papel revolucionário em vários campos médicos, nomeadamente na Medicina Dentária. De entre os vários tipos de laser utilizados em Medicina Dentária, é possível diferenciar entre lasers de baixa e alta intensidade. Em 1967, o médico húngaro Endre Mester et al, verificaram que feridas em ratos cicatrizavam mais rapidamente quando sobre ação de laser de baixa intensidade. Os lasers de baixa intensidade têm demonstrado efeitos cicatrizantes, anti-inflamatórios, analgésicos e relevantes, por meio de interação com processos metabólicos de células-alvo, processos metabólicos esses, induzidos pela ação bioestimulante do laser na mitocôndria. Esses efeitos bioestimulantes resultam em fenómenos celulares e vasculares que aparentam interferir diretamente no processo de reparação.

O objetivo principal desta revisão narrativa é demonstrar a aplicabilidade da terapia laser de baixa intensidade na reparação tecidual na cavidade oral. Como objetivos secundários pretende-se descrever, acerca da LLLT, principais funções, mecanismo de ação e possíveis benefícios da sua utilização.

A metodologia consistiu numa pesquisa bibliográfica nas bases de dados PubMed e Scopus, tendo sido selecionados artigos publicados entre 2009 e 2019.

Concluindo, a LLLT é uma terapia que se baseia no poder bioestimulante da luz laser, obtendo benefícios no que concerne à reparação celular, redução de inflamação e redução da dor, de modo não térmico, apresentando aplicações em várias áreas da Medicina Dentária, como no tratamento de úlceras aftosas, lesões herpéticas, em enxertos de mucosa ou regeneração óssea em disjunções palatinas.

Os resultados obtidos têm-se revelado positivos e promissores, no então, futuramente, estudos com desenhos mais rigorosos e amostragens superiores, deverão ser realizados, de modo a credibilizar e a conferir um grau superior de evidência.

Palavras-Chave: "Terapia Laser de Baixa Intensidade"; "Bioestimulação"; "Cicatrização"; "Reparação"; "Cavidade Oral".

Abstract

Lasers have played a revolutionary role in several medical fields, namely in dental medicine. Among the various types of laser used in dental medicine, it is possible to differentiate between low and high intensity lasers. In 1967, the Hungarian physician, Endre Mester et al, found that wounds in rats healed more quickly when on low-intensity laser action. Low-intensity lasers have shown relevant anti-inflammatory, analgesic and healing effects, through interaction with metabolic processes of target cells, metabolic processes induced by the laser biostimulant action in mitochondria. These bio-stimulating effects result in cellular and vascular phenomena that appear to interfere directly in the repair process.

The main objective of this narrative review is to demonstrate the applicability of low intensity laser therapy in tissue repair in the oral cavity. As secondary objectives, it is intended to describe, about LLLT, its main functions, mechanism of action and possible benefits of its use.

The methodology consisted in a bibliographic research in the PubMed and Scopus databases, and articles published between 2009 and 2019 were selected.

Concluding, LLLT is a therapy that is based on the biostimulant power of laser light, obtaining benefits in relation to cell repair, reduction of inflammation and reduction of pain, in a non-thermic way, showing applications in several fields of dental medicine, such as treatment of aphthous ulcers, herpetic lesions, mucosal grafts or bone regeneration in palatal disjunctions.

The obtained results have revealed positive and promising, however, in the future, studies with stricter designs and superior sampling, should be carried out in order to credibilize and confer a higher degree of evidence.

Key Words: "Low Level Laser Therapy"; "Biostimulation"; "Healing Process"; "Repair"; "Oral Cavity".

Capítulo I – “Utilização do Laser de Baixa Intensidade na Reparação de Tecidos Orais”

I. Introdução

A terapia a laser de baixa intensidade (LLLT) tem sido utilizada há mais de meio século, tendo sido Mester o primeiro investigador a estudar os seus efeitos na cicatrização de feridas.⁽¹⁾

A LLLT tem sido aplicada em diversas especialidades médicas para promover a aceleração na cicatrização de feridas em tecidos moles e duros.⁽²⁾

Os lasers de baixa intensidade, aplicados no espectro do vermelho e infravermelho próximo, promovem efeitos de fotobiomodulação celular e respostas terapêuticas induzidas por reações fotoquímicas, fotoelétricas e foto energéticas de um modo dose-dependente.^(1,2)

Acredita-se que através da irradiação da mitocôndria pela luz laser, absorvida pelos fotorreceptores da cadeia respiratória mitocondrial, ocorra um aumento do metabolismo celular, aumentando a síntese de ATP, proliferação celular, síntese de proteínas, tais como o colagénio, promoção da angiogénese, redução do *stress* oxidativo e libertação de fatores de crescimento, sendo todos estes processos de fundamental importância na regeneração celular.^(1,3,4)

A LLLT tem vindo a apresentar resultados em várias áreas da Medicina Dentária, tanto em tecidos moles como duros, nomeadamente no tratamento de úlceras aftosas, lesões herpéticas, mucosites após quimioterapia e radioterapia, redução da parestesia do nervo trigémio, regeneração óssea em expansões rápidas palatinas, cicatrização alveolar pós extração dentária, entre outras.⁽³⁻⁷⁾

II. Objetivo

O objetivo principal desta revisão narrativa é demonstrar a aplicabilidade da terapia laser de baixa intensidade na reparação tecidual na cavidade oral. Como objetivos secundários pretende-se descrever, acerca da LLLT, principais funções, mecanismo de ação e possíveis benefícios da sua utilização.

III. Materiais e Métodos

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados PubMed e Scopus, tendo sido selecionados artigos publicados entre 2009 e 2019, com as palavras chave: "Low Level Laser Therapy"; "Biostimulation"; "Healing Process"; "Repair"; "Oral Cavity".

Critérios de Inclusão:

Artigos publicados entre 2009 e 2019 que incluíssem as palavras chave;

Artigos publicados em português e inglês;

Artigos que abordassem a utilização da LLLT em humanos.

Critérios de Exclusão:

Tratamento a laser de alta intensidade;

Resultados clínicos em animais;

Artigos que não incluíssem as palavras-chave.

Foram selecionados para esta revisão, após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 37 artigos e 4 livros.

IV. Fundamentação Teórica

4.1. TERAPIA LASER DE BAIXA INTENSIDADE: RETROSPETIVA HISTÓRICA E CONCEITOS BÁSICOS

A interação entre célula e luz é bem conhecida no que respeita a plantas. Nos anos 80, Karu et al, propuseram um mecanismo de ação da luz laser de 632,8 nm (nanómetros) de comprimento de onda em células animais, tendo sido esse processo referido como "Low-Level Laser Therapy" (LLLT).⁽⁸⁾

Contrariamente aos lasers de alta potência, que se utilizam para fazer ablação de tecidos através dos seus efeitos térmicos, os lasers de baixa potência exercem a sua ação através da interação da luz com a célula e o tecido. Esta interação pode ser afetada por parâmetros como comprimento de onda, potência, densidade de energia, tempo de irradiação, método de aplicação e condição do tecido.⁽⁹⁾

A LLLT surgiu na Hungria em 1967, pela mão de Endre Mester. Durante uma experiência com vista a avaliar o poder carcinogénico da luz laser em ratos, verificou ausência de neoplasia por parte do grupo irradiado pelo laser, no entanto, verificou um crescimento mais acelerado do pelo, previamente cortado para a investigação, em relação ao grupo não irradiado. Apelidou este efeito de "Bioestimulação".⁽⁷⁾

A LLLT vai aumentar a concentração de ATP, acelerar a mitose, promover reparação tecidular, estimular reparação óssea, controlar a produção de fibroblastos, promovendo a deposição de colagénio e fibras elásticas no tecido de reparação e aumentar a proliferação sanguínea periférica, estimulando desse modo o incremento da ação anti-inflamatória e a cicatrização de tecidos.⁽¹⁰⁾

Em 2014, um consenso de um grupo de especialistas no congresso conjunto da NAALT (Associação Norte-Americana de Fotobiomodulação) e da WALT (Associação Mundial de Laserterapia) defendeu a alteração da designação da LLLT e dos restantes termos utilizados referentes a tratamentos de luz de baixa intensidade, para terapia de fotobiomodulação (Photobiomodulation Therapy).⁽¹¹⁾

A LLLT apresenta-se como uma terapêutica médica segura, não tendo sido registados efeitos adversos. Os lasers mais utilizados na LLLT foram classificados pela FDA (Food and Drug Administration) como Classe III: dispositivo médico sem risco significativo.⁽¹²⁾

4.2. DEFINIÇÃO DE LASER

A palavra LASER é o acrônimo em inglês de "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". O conceito físico de emissão estimulada foi proposto por Albert Einstein em 1916, no entanto, apenas em 1960 foi possível construir o primeiro dispositivo laser, por Theodore Maiman.^(5,13)

Este tipo de radiação apresenta características que a diferenciam da luz comum, como o **monocromatismo** - a luz laser possui um único comprimento de onda, ou seja, uma única cor; a **colimação** - o feixe emitido é concentrado, apresentando divergência muito reduzida; a **coerência** - as ondas produzidas pelo laser são fisicamente idênticas, ou seja, apresentam amplitude e frequência idênticas e **brilho** - esta propriedade advém da colimação da luz laser à medida que esta se desloca no espaço, mantendo a sua concentração. Quanto maior for o fator de brilho, maior a concentração de energia.⁽¹⁴⁾

4.2.1. Componentes do sistema laser

Há três componentes fundamentais para o funcionamento de um dispositivo laser.⁽¹⁵⁾

- Meio ativo
- Mecanismo de bombeamento
- Cavityde ótica ressonante

O **meio ativo**, que dará o nome ao laser, é composto por elementos químicos, moléculas e poderá ser um cristal, um gás, um semicondutor ou um líquido.⁽¹⁵⁾

O **mecanismo de bombeamento**, envolve uma fonte excitatória que vai bombear energia em direção ao meio ativo, sendo absorvida pelos elétrons do mesmo, fazendo com que estes fiquem excitados e subam para o nível energético seguinte. Quando o número de elétrons nesta condição é superior ao número de elétrons no estado fundamental (não excitado), ocorre uma emissão espontânea de energia, sobre a forma de fóton. Quando um fóton adicional é absorvido por um átomo já previamente excitado, ocorre uma emissão de dois fótons idênticos, que se deslocam como uma onda coerente. Estes fótons são refletidos pelos espelhos e regressam ao meio ativo, estimulando a libertação de mais fótons, e assim sucessivamente, sendo este o mecanismo de emissão estimulada, que está na gênese do laser.^(14,15)

A completar o dispositivo laser, encontram-se dois espelhos, em extremidades opostas da **cavidade ótica**, ou duas superfícies polidas em cada extremidade, caso se trate de um semiconductor. Irão funcionar como ressonadores óticos, refletindo as ondas produzidas e amplificando o feixe. Lentes para focalizar o feixe e sistemas de arrefecimento também estão incluídos como componentes mecânicos do laser.⁽¹⁵⁾

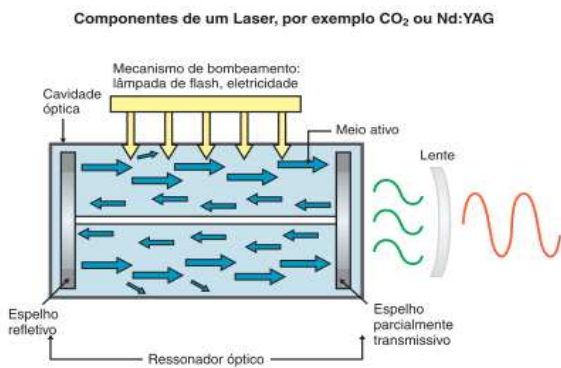


Figura 1 Adaptado de "Convissar RA. Princípios e práticas do laser na odontologia: Elsevier Brasil; 2011"

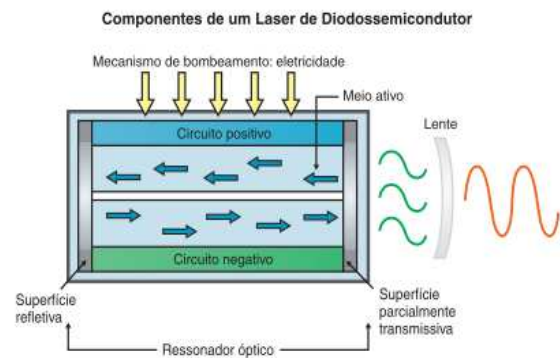


Figura 2 Adaptado de "Convissar RA. Princípios e práticas do laser na odontologia: Elsevier Brasil; 2011"

4.2.2. Interação do laser com o tecido biológico

A energia do laser pode interagir com o tecido alvo de 4 formas, com base nas propriedades óticas do tecido em questão:

Reflexão: ocorre quando o feixe é redirecionado à superfície do tecido, não exercendo qualquer efeito sobre o tecido alvo, havendo perigo de lesão se for refletido para os olhos.

Transmissão: a energia do laser passa através do tecido sem exercer qualquer efeito no tecido alvo.

Dispersão: a energia do feixe laser é dissipada no tecido, diminuindo a energia do mesmo.

Absorção: este é o efeito desejado aquando da aplicação da energia de laser. A quantidade de energia absorvida pelo tecido alvo vai ser influenciada por diversos componentes, como presença de pigmentos, componentes sanguíneos, água, proteínas, componentes inorgânicos e outras macromoléculas, denominados de cromóforos, e a afinidade de cada um destes para com cada um dos diferentes comprimentos de onda da radiação. O citocromo c oxidase (CCO) apresenta maior afinidade para as radiações no espectro do vermelho e infravermelho. O grau de absorção, ou seja, a profundidade de penetração do laser no tecido biológico é dependente do seu comprimento de onda. Assim a sua absorção

é fortemente influenciada pelo coeficiente de absorção na água, por estar presente em todos os tecidos, sendo que um baixo coeficiente resulta numa maior penetração, como no caso dos lasers de diodo e de Nd:YAG, e um alto coeficiente numa absorção mais superficial, como nos lasers de érbio e CO₂.^(15,16) (Figura 3)

A absorção, por sua vez, pode resultar em efeitos:

Fototérmicos: através da transformação de energia em calor por parte da radiação. (Tabela 1)

Fotomecânicos: dividindo-se em foto dissociação e foto acústico, com quebra de estruturas e remoção tecidular.

Fotoelétrico: inclui fotoplasmólise, remoção tecidular por formação de iões eletricamente carregados.

Fotoquímico: no qual se inclui a **bioestimulação**, pelos efeitos estimulantes da luz laser nos processos bioquímicos e moleculares dos tecidos.⁽¹⁴⁾

4.3. CÁLCULO DA DOSE

Para o cálculo da dose de energia a aplicar no tecido alvo, há alguns parâmetros a considerar previamente:

- Energia - Representa a quantidade de energia transmitida ao tecido, exprime-se em Joules (J). 1 J = 1000 milijoules (mJ)
- Potência - Representa a taxa com que essa energia é transmitida ao tecido, relação entre energia aplicada (J) e o tempo de aplicação (s). Expressa em Watts (W). 1 W = 1000 miliwatts (mW)
- Potência = energia (J)/tempo (s)
- Energia = potência (W) x tempo (s)
- Densidade de potência ou Intensidade - Potência por unidade de área (W/cm²)
- Densidade de energia ou Fluência - Energia por unidade de área (J/cm²)
- Densidade de energia = Densidade de potência x tempo = (W/cm²) x s^(17,18)

A dose a aplicar no tecido, expressa como densidade de energia (J/s), é obtida calculando a energia transferida por unidade de área, ou seja, potência a multiplicar pelo tempo e dividir pela área irradiada.^(18,19)

Analisando a fórmula de cálculo da densidade de energia, verifica-se que há uma relação inversa entre esta e o diâmetro do feixe laser. A diminuição do tamanho da área irradiada aumenta a densidade de energia. Como a dose depende muito da área, uma sonda de diâmetro curto de luz gerará densidades de energia mais altas.⁽¹⁵⁾

Uma determinada densidade de potência é necessária para desencadear efeitos biológicos. Tem sido sugerido que tanto a densidade de energia como a densidade de potência são parâmetros biológicos chave da terapia laser, devendo ambos se situar dentro de limiares específicos.⁽²⁰⁾

Sabendo que a energia de um laser depende do tempo e da potência, para a mesma energia obtêm-se efeitos biológicos diferentes, quando qualquer dos parâmetros, potência ou tempo variam, ou seja, duplicando a potência e reduzindo a metade o tempo de aplicação, o efeito não é o mesmo, apesar da energia aplicada ser a mesma.⁽²¹⁾

Encontrar a dose ideal tem sido das tarefas mais complexas da LLLT. O motivo é a grande dificuldade em calcular a quantidade de energia transmitida, dispersada e absorvida.⁽¹⁸⁾

A espessura de tecido entre a saída do laser e o tecido alvo, e o tipo de tecido, deve ser considerada para um tratamento mais eficaz. A energia laser é mais facilmente transmitida pelo mucosa e gordura do que pelo músculo (altamente vascularizado). A hemoglobina e outros pigmentos apresentam elevada capacidade de absorção da luz laser, exigindo assim doses superiores. Desse modo, a penetração pode ser aumentada aplicando uma ligeira pressão, por criação de uma zona isquêmica.⁽²⁰⁾

Há vários critérios relativos ao tempo de irradiação e parâmetros de energia a utilizar, dependendo do efeito terapêutico pretendido.⁽¹⁷⁾

Na aplicação do tratamento interessam parâmetros como a frequência da irradiação, o tipo de lesão e tecido alvo.⁽¹⁷⁾

Geralmente, a janela terapêutica para interação tecidular não térmica é de 1-500 mW, no entanto os lasers cirúrgicos, podem também ser usados como lasers de baixa potência se forem desfocados.⁽²²⁾

A dose aplicada durante a irradiação pelo laser é um dos parâmetros fundamentais na obtenção de resultados benéficos com esta terapia. No entanto, como foi referido

anteriormente, uma dose precisa para cada tratamento não foi ainda estabelecida. Tem vindo a ser reportado na literatura que a LLLT apresenta uma janela terapêutica que varia entre os 0.001 e os 10 J/cm². Os efeitos dose-dependente do laser são normalmente explicados pela lei de Arndt-Schulz, que defende que estímulos baixos apresentam pouco efeito, estímulos mais fortes desencadeiam um efeito maior, mas há um pico máximo de estimulação, sendo que ultrapassado esse pico ocorre a supressão do efeito.^(9,23)

Originalmente acreditou-se que a LLLT requeria o uso de luz laser coerente, no entanto, díodos emissores de luz, LEDs (Light Emitting Diodes), luz não coerente, têm aparecido como uma alternativa mais económica. Contudo, não há consenso relativamente aos efeitos clínicos deste. Um dos parâmetros mais consensuais em relação à LLLT prende-se com o comprimento de onda.^(18,23)

Para tratar tecidos superficiais, escolhem-se comprimentos de onda que se encontrem entre os 600 e 700 nm. Já para tecidos mais profundos, o comprimento de onda ideal situa-se entre os 780 e 950 nm, sendo que se considera que o intervalo entre os 700 e 770 apresenta pouca atividade.⁽⁷⁾

4.4. CLASSIFICAÇÃO DOS LASERS

Há várias formas possíveis de classificar os lasers. Estas são algumas das principais.

4.4.1. Potência

A potência de emissão da radiação é uma das características principais dos tratamentos com lasers.

Alta Potência: Ação em tecidos através dos seus efeitos térmicos, efeitos de necrose, carbonização, coagulação, desnaturação proteica e vaporização. Apresentam potência superior a 500 mW. Utilizados em cirurgia.⁽²⁴⁾ (Tabela 1)

Baixa Potência: Estes lasers apresentam potência inferior a 500mW. São utilizados para promover reparação tecidular, reduzir inflamação e induzir analgesia por fotobiomodulação, através de efeitos fotoquímicos, não causando efeitos térmicos nos tecidos.^(20,25)

4.4.2. Comprimento de onda

Com base no comprimento de onda os lasers podem ser classificados em 4 categorias.

Características espectrais do Laser	Comprimento de onda
Ultravioleta	300-400 nm
Luz visível	400-700 nm
Infravermelho (NIR)	700-1200 nm
Infravermelho longínquo (FIR)	> 1200 nm

Tabela 2 Classificação do laser baseada do comprimento de onda. Adaptado de “*Application of Low level laser in Dentistry (Endodontic)*”

4.4.3. Modo de emissão

A energia do laser pode ser emitida em modo contínuo, pulsado ou super-pulsado, havendo alguma evidência de que nos modos pulsados, a luz apresenta uma capacidade de penetração superior:

Modo contínuo: Neste modo, o feixe é emitido com um nível contínuo de potência ao longo do tempo.

Modo pulsado: Neste modo, de forma periódica, a energia laser é ligada e desligada.

Modo super-pulsado: Neste modo, são emitidos picos de elevada potência por períodos curtos de tempo, seguidos de longos períodos sem qualquer emissão de energia.^(14,20)

4.4.4. Lasers mais utilizados na LLLT

Na tabela seguinte, são apresentados alguns dos lasers mais utilizados na terapia laser de baixa intensidade.

Laser	Comprimento de onda	Fonte
Laser HeNe	633 nm	Gás
Laser InGaAIP	633-700 nm	Semiconductor
Laser GaAlAs	780-890 nm	Semiconductor
Laser GaAs	904 nm	Semiconductor
Laser desfocado de CO ₂	10 600 nm	Gás
Laser desfocado de Rubi	694 nm	Sólido
Laser desfocado de Nd:YAG	1064 nm	Sólido

Tabela 3 Principais lasers terapêuticos e respectivos comprimentos de onda. Adaptado de “*Application of Low level lasers in Dentistry (Endodontic)*”

4.4.5. Riscos e parâmetros de segurança na utilização de laser

Os lasers estão categorizados de acordo com o seu potencial de lesão ou dano. Esses riscos estão classificados internacionalmente pela IEC (International Electrotechnical Commission) e nos EUA pela ANSI (American National Standards Institute).

Classe 1/1M: Considerado sem perigo. Risco aumentado se utilizados dispositivos óticos de ampliação tais como binóculos. Usado em impressoras a laser e leitores DVD.

Classe 2/2M: Perigoso se existir exposição ocular de forma direta por um período prolongado de tempo e se forem utilizados dispositivos óticos de ampliação. Usados em leitores de códigos de barras.

Classe 3R: Potencialmente perigoso se existir momentaneamente exposição ocular direta. Risco de lesão aumentado se utilizados dispositivos de ampliação. Utilizados em ponteiros de laser.

Classe 3B: Lasers entre os 5 e os 500 mW de potência. Perigosos se ocorrer visualização direta do feixe de luz, mas geralmente seguros quando a exposição ocorre a reflexões difusas do laser. **Lasers geralmente utilizados na LLLT.**

Classe 4: Lasers com potência superior a 500 mW. Capazes de cortar, queimar e produzir chama. Utilizados em cirurgia.⁽¹³⁾

A utilização do laser implica a adoção de medidas de segurança de forma a evitar acidentes, tais como:

- Verificações periódicas do estado do aparelho de laser;
- Utilização de óculos de proteção específicos para o comprimento de onda do laser em utilização por parte do operador e paciente;
- Colocação de avisos na entrada do consultório, informando qual a classe do aparelho laser, alertando para os perigos da exposição ao feixe.⁽¹⁸⁾

4.5. MECANISMOS DA AÇÃO DA LLLT NA REPARAÇÃO TECIDULAR

4.5.1. Processo de Reparação

O processo normal de cicatrização é dinâmico, sendo constituído por quatro fases interligadas e sequenciais: hemóstase, inflamação, proliferação, remodelação.

- **Hemóstase**, em que ocorre constrição vascular, agregação plaquetária, desgranulação de mastócitos e formação do trombo de fibrina.
- **Inflamação**, que envolve infiltração de neutrófilos e monócitos que se diferenciam em macrófagos e ainda infiltração linfocitária.
- **Proliferação** e diferenciação das células mesenquimatosas e migração para o local da ferida, reepitelização adequada, angiogénese, sínteses de colagénio e formação da matriz extracelular compondo o tecido de granulação cicatricial.
- **Remodelação**, que pode durar anos, ocorrendo a redução dos neovasos, voltando a vascularização ao normal, contração da ferida e tecido cicatricial por miofibroblastos e remodelação do colagénio neoformado com alinhamento de fibras e formação de pontes cruzadas.

Qualquer interferência numa das fases atrasa o processo cicatricial.⁽²⁶⁾

4.5.2. Mecanismos Moleculares do LLLT

A luz é composta por fotões cuja energia depende do comprimento de onda. A energia dos fotões é transferida para moléculas orgânicas designadas cromóforos.⁽⁵⁾

Os alvos celulares principais da LLLT são CCO na mitocôndria e os canais de cálcio na membrana plasmática.⁽²⁷⁾

4.5.2.1. Respiração mitocondrial e ATP, AMPc e ROS

Um dos mecanismos melhor compreendidos no que diz respeito à LLLT, afirma que o laser atua no CCO, que está implicado como seu fotorreceptor primário. O CCO é a enzima terminal da cadeia transportadora de eletrões, regulando toda a função mitocondrial. O CCO é indicado como o cromóforo alvo específico para a radiação no comprimento de onda do vermelho e infravermelho. Esta interação levará a uma perturbação no normal funcionamento da cadeia transportadora de eletrões, através da absorção dos mesmos por parte do CCO, promovendo a redução do oxigénio molecular, aumentando o potencial mitocondrial membranar, a produção de espécies reativas de oxigénio (ROS), de adenosina trifosfato (ATP) e adenosina monofosfato cíclico (AMPc).^(28,29)

Existe uma relação próxima entre a produção de ROS decorrente da estimulação luminosa da mitocôndria e a sinalização do cálcio, com ambos a regularem-se mutuamente.⁽⁵⁾

4.5.2.2. Produção de óxido nítrico (NO)

O NO produzido na mitocôndria compete com o O₂. A luz laser irá dissociar a ligação do NO ao CCO. Em condições patológicas, a concentração de NO está aumentada, pelo que a LLLT terá um efeito benéfico, pois permitirá o restabelecimento da ligação do O₂ ao CCO, restabelecendo assim a respiração celular e a consequente síntese de ATP. Este mecanismo levará ao início de uma cascata de sinalização celular.^(8,15,28)

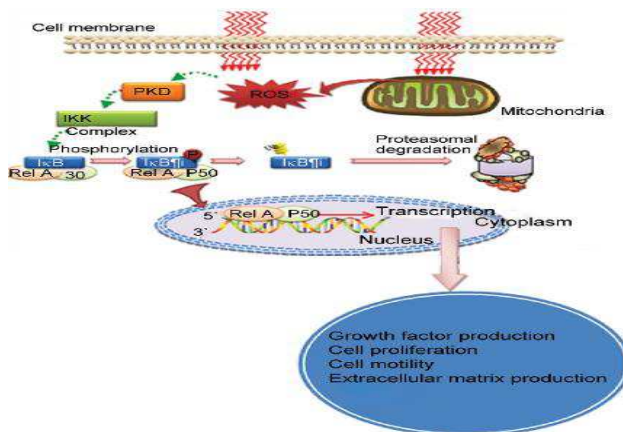


Figura 4

Mecanismo e aplicação da LLLT. Os fótons da radiação vermelha e infravermelha são absorvidos na mitocôndria da célula, produzindo ROS e libertando NO, o que leva a transcrição genética, via ativação dos fatores de transcrição (NF-κB e AP-1)

Adaptado de "Goyal M, Makkar S, Pasricha S. Low Level Laser Therapy in Dentistry"

O NO tem ação vasodilatadora pela estimulação da guanina monofosfato cíclico (GMPC), que ativa a proteína cinase G, levando à abertura de canais de cálcio com aumento da recaptação do mesmo e consequente relaxamento do músculo liso dos vasos.⁽²⁹⁾

4.5.2.3. Produção de ROS e sinalização mitocondrial retrógrada / Modificação da atividade das cinases

A sinalização mitocondrial retrógrada depende principalmente de ROS, ATP e aumento do potencial da membrana mitocondrial, permitindo a comunicação entre mitocôndria e núcleo, com consequente síntese de DNA, RNA, proteínas e enzimas. Vai conduzir também à fosforilação dos recetores da tirosina cinase, estimulando a via das cinases, responsável pelo aumento da proliferação de diversas espécies de células.⁽³⁰⁾

A irradiação do CCO pelo laser de baixa intensidade leva à produção de ROS e consequente *stress* oxidativo, resultando na ativação de vários fatores transcrição, tais como o fator de necrose kappa B (NF-κB) e a proteína ativadora 1 (AP-1), estimulando vias de sinalização celular e expressão genética, que conduzem a um aumento da síntese proteica.⁽¹³⁾

A LLLT em altas doses pode induzir apoptose celular, via ativação da cinase 3 beta glicogénio sintetase (GSK3 β). A LLLT tanto pode induzir proliferação (densidade baixa de energia) como apoptose (densidade elevada de energia) mudando a atividade das mesmas cinases. Ambos os processos dependem de ROS, variando na intensidade de produção do mesmo. É benéfico em baixa concentração e lesivo em altas concentrações e o mesmo para o tempo de exposição sendo benéfico em exposições breves. O aumento do NF- κ B induzido pelo laser aumenta a transcrição e a proliferação celular e reduz a morte celular. O laser em altas doses leva excesso de produção de ROS e NO, aumento do *stress* oxidativo com ativação de vias citotóxicas.⁽³⁰⁾

Enquanto em células normais a LLLT induz aumento ligeiro e dose dependente de ROS, em células previamente expostas a *stress* oxidativo aparenta causar a sua redução.⁽³¹⁾

4.5.2.4. Canais de cálcio sensíveis à luz

Verificou-se que após irradiação por laser de 532 nm, ocorreu o aumento do cálcio intracelular, conduzindo à desgranulação de mastócitos e consequente libertação de histamina, fundamentais no processo de reparação. Mudanças na ultra estrutura mitocondrial ou alcalinização celular, por ação do laser condicionam a abertura de canais de cálcio e consequente influxo do cálcio, podendo também haver uma ação direta sobre os mesmos. Por estas vias ocorre o aumento do cálcio intracelular. Há numerosas outras vias de sinalização do cálcio que incluem as proteínas cinases.⁽²⁹⁾

4.5.2.5. Outros alvos moleculares de ação do laser

Outros alvos de ação do laser são a ativação de fatores de transcrição e efetores moleculares.

Fatores de transcrição

Múltiplos fatores de transcrição são ativados após a aplicação do LLT, salientam-se:⁽²⁹⁾

- NF- κ B: regula a expressão de vários genes relacionados com funções celulares, resposta inflamatória, promovendo a transcrição.
- RANKL: proteína transmembranar envolvida na remodelação e regeneração óssea- o LLLT aumenta a expressão do recetor do RANK nos osteoblastos, diferenciando-

os e ativando-os, sendo também um ligando para a osteoprotegerina (OPG), que por sua vez interfere na ligação do RANK ao RANKL. O rácio RANKL/OPG determina a quantidade de osso formado ou reabsorvido.

- Ativação da via das cateninas (efeito regenerador celular) e supressão da via da GSK3 β (via apoptótica).
- RUNX2: diferenciação osteoblástica e formação de matriz óssea, aumenta com o laser.

Efetores moleculares

São pequenas moléculas péptidos ou até grandes proteínas que se ligam a seletivamente a uma proteína/enzima regula sua atividade biológica. Salientam-se:⁽²⁹⁾

- TGF- β : estimulador da produção de colagénio e inibidor das metaloproteinases.
- *Stress* oxidativo.
- Citocinas pró inflamatórias (TNF- α , interleucina, histamina, fator de crescimento básico de fibroblastos (bFGF), prostaglandinas e eicosanoides).
- VEGF: fator de crescimento endotelial, essencial na angiogénese.
- PPAR γ : Recetores nucleares importantes na regulação da expressão genética.
- bFGF e KGF: agentes de crescimento dos fibroblastos e queratinócitos, acelerando a formação de tecido de granulação e epitelização.

4.5.3. Mecanismos Celulares

4.5.3.1. Inflamação

Estão bem documentados efeitos anti-inflamatórios do laser nos fatores anti e pró-inflamatórios, como interleucina 1 e 8 (IL-1 e IL-8), cicloxigenase 1 e 2 (COX-1 e COX-2), entre outros. Esta fase é essencial na limpeza de restos celulares e promoção da migração de queratinócitos e fibroblastos.⁽³²⁾

A capacidade da fotobiomodulação, modular a inflamação e o microambiente imune pode contribuir de forma sinérgica para estes efeitos terapêuticos. No processo de reparação estão envolvidas citocinas e múltiplos fatores de crescimento já atrás mencionados.⁽³²⁾

Concluiu-se que a luz de 635 nm terá efeito anti-inflamatório por inibir produção da prostaglandina E₂ (PGE₂), a expressão de mRNA de COX-1 e COX-2, também tendo reduzido

o ROS intracelular que medeia a expressão da fosfolipase A₂ cálcio dependente (sPLA₂), uma fosfolipase secretória.^(15,29)

4.5.3.2. Proliferação e diferenciação das células mesenquimatosas e remodelação

A estimulação de mastócitos conduz à libertação de citocinas pró-inflamatórias, que promovem infiltração leucocitária local dos tecidos. Como os mastócitos desempenham um papel fundamental nas funções leucocitárias, a modulação por parte do LLLT da sua atividade pode ser considerada de importância considerável na promoção da reparação tecidular na cavidade oral.⁽⁵⁾

Proliferação, maturação e recrutamento de fibroblastos foram identificados como efeitos da LLLT. Em adição, foi também verificada, como referido anteriormente, a redução de PGE₂ e aumento da produção de bFGF, um polipéptido multifuncional libertado por fibroblastos, levando à sua proliferação, diferenciação e maturação, e conseqüentemente à reparação tecidular. De destacar que foi observado que altas doses de laser suprimem tanto a proliferação de fibroblastos como a produção de bFGF, sendo desse modo clara a necessidade de obter uma dose de LLLT apropriada.^(5,22)

A cicatrização envolve o recrutamento de tecidos de áreas circundantes, nomeadamente do tecido conjuntivo laxo em que são incluídos vasos sanguíneos. Envolverá a transferência de células mononucleares perivasculares e imaturas, acompanhadas por outras células sanguíneas que sofrerão mitose e se deslocarão para a lesão assumindo o papel de fibroblastos. Vários estudos *in vitro* demonstraram que a irradiação pelo laser aumenta a libertação de bFGF dos fibroblastos gengivais. Parece que quando a inflamação está presente, o laser exerce efeito anti-inflamatório, mas, na ausência de inflamação, o laser estimula mediadores pró inflamatórios, que podem ajudar à remodelação e mediar a função celular.⁽¹²⁾

4.5.3.3. O sistema imune no processo de reparação tecidular e como alvo do LLLT

As células imunes aparentam ser fortemente afetadas pelo LLLT, sendo que há comprimentos de onda específicos capazes de despoletar desgranulação dos mastócitos, considerados fundamentais no processo inflamatório.⁽²³⁾

Sugere-se que a LLLT pode induzir a expressão de citocinas e fatores de crescimento conhecidos por serem responsáveis por muitas das fases da reparação de feridas, incluindo um aumento da IL-1 e IL-8 em queratinócitos, que são as citocinas responsáveis pela fase inflamatória inicial da reparação. Os efeitos estimulantes da LLLT libertam histamina, serotonina, bradicinina além de ativar a produção de ácido araquidónico, convertendo prostaglandinas em prostaciclina.^(10,33)

Verificou-se através da utilização do LLLT uma elevada atividade fagocitária de macrófagos 6 horas após o trauma. A LLLT melhora o desempenho das células mononucleares através da produção de leucotrieno-B₄ (derivado do ácido araquidónico) e de IL-8. Os fibroblastos são relevantes na cicatrização de lesões tecidulares incluindo feridas cirúrgicas, promovendo a epitelização e formação de tecido de granulação para a fase de reparação, iniciando a síntese de colagénio. O aumento da produção de ATP promove processos metabólicos, sintetiza DNA, RNA, proteínas, enzimas e outros componentes biológicos necessários ao processo de reparação e restauro da homeostase.⁽⁷⁾

4.6. OUTROS EFEITOS DA LLLT

Efeito na redução da dor

No que respeita ao alívio de dor, um dos mecanismos descritos é de que a radiação laser irá promover a libertação de endorfinas e encefalinas.⁽⁵⁾

Está também descrito um aumento da síntese de ATP nas mitocôndrias neuronais, sendo fulcral no processo de inibição dolorosa, pois sabe-se que uma redução da síntese de ATP leva a uma despolarização e conseqüente diminuição do limiar da estimulação dolorosa, pelo que, um aumento da síntese de ATP, conduzirá a hiperpolarização e obstrução de estímulos dolorosos, diminuindo assim a indução dos mesmos.⁽⁵⁾

Os efeitos da LLLT no alívio da dor incluem aumento da síntese de endorfinas, bradicinina diminuição da atividade das fibras c e alteração do limiar de dor. A inibição da PGE₂ e da IL-1 também contribui para a redução da dor (PG diminui o limiar de dor). Foi demonstrado que a condução das fibras nervosas foi inibida pelo uso de lasers de baixa intensidade, não

dependendo a sua ação de lesões nervosas, mas sim por alteração reversível da voltagem dos canais Na-K (sódio-potássio) dependentes, como na anestesia local.⁽⁵⁾

4.7. APLICAÇÕES CLÍNICAS DA LLLT

4.7.1. Aplicações em Tecidos Moles

4.7.1.1. Estomatite Aftosa Recorrente

A estomatite aftosa recorrente é a lesão ulcerativa mais frequente na cavidade oral. Na terapêutica convencional utilizam-se geralmente corticosteroides locais e sistêmicos, antissépticos, analgésicos, antibióticos e drogas imunomoduladoras.^(5,34)

A LLLT promove uma redução imediata da dor e desconforto e ocorrendo também a redução no tempo de epitelização, quando comparada com outros tratamentos ou placebo. A cura das ulcerações atinge-se principalmente pela estimulação do crescimento epitelial e angiogénese.⁽³⁴⁾

Lalabanova et al. (2014), compararam a taxa de epitelização e de resposta dolorosa entre um grupo de pacientes sujeito a LLLT (90 pacientes) e um grupo controlo (90 pacientes) a realizar farmacoterapia convencional, tendo verificado uma taxa de epitelização total ao fim de 5 dias após o início do tratamento de 75,6 % no grupo tratado com LLLT, em contraste com os 37,4% registados no grupo experimental. Verificou-se também a ausência de dor em 90% dos pacientes após o segundo dia e em 100% após o terceiro dia no grupo LLLT, em contraste com 0% e 11,1%, respetivamente, no grupo com farmacoterapia. Concluiu-se, perante estes resultados, que a LLLT se apresentou como uma possível alternativa terapêutica.⁽³⁴⁾

Foi também relatado por Aggarwall et al. (2014), num estudo com 30 pacientes que apresentavam duas úlceras, em que uma foi tratada com laser e a outra com laser placebo, completa epitelização em $3,05 \pm 1,10$ dias nas úlceras tratadas com laser e de $8,90 \pm 2,45$ dias no grupo controlo. Uma redução imediata da dor no grupo tratado com laser foi também relatada.⁽⁵⁾

Verifica-se, apesar das variações nos protocolos de aplicação do laser, uma tendência para

um alívio imediato da sensação dolorosa e uma aceleração no processo de epitelização na generalidade dos estudos realizados.

Na estomatite aftosa recorrente são utilizados geralmente 4 tipos de laser: CO₂, Nd:YAG, diodo, GaAlAs revelando o laser de CO₂ a grande vantagem de requerer um tempo de exposição muito reduzido.^(3,5,35)

4.7.1.2. Lesões Herpéticas

As lesões herpéticas são originadas pelo vírus Herpes Simplex, que atinge, de acordo com a Organização Mundial de Saúde, aproximadamente 60% da população. As áreas mais comuns de manifestação destas lesões são os lábios e as áreas periorais. O tratamento é geralmente realizado com aciclovir, valaciclovir e famciclovir.^(36,37)

Al Maweriet et al. (2018), numa revisão sistemática, analisaram 6 estudos que compararam a ação do LLLT com placebo e farmacoterapia. Em 4 dos estudos foi avaliado o tempo de epitelização das lesões, tendo-se em todos eles verificado uma redução significativa no grupo tratado com LLLT, quando comparado com os grupos controlo. Não foi reportado em nenhum dos estudos qualquer efeito adverso. Concluíram assim, que a LLLT poderia ser considerada uma opção efetiva no tratamento e prevenção do surgimento das lesões herpéticas.⁽³⁶⁾

Verificou-se nos estudos analisados uma melhoria no que concerne à redução da sensação dolorosa e a uma diminuição também no tempo de cicatrização da lesão herpética. Uma aparente redução da taxa de recidiva das lesões herpéticas poderá estar relacionada com a estimulação do sistema imunológico.^(36,37)

4.7.1.3. Enxertos de Mucosa

Os enxertos de tecidos moles autógenos são bastante utilizados quando o objetivo é aumentar altura e/ou espessura de tecido queratinizado. No entanto causam desconforto e morbidade na região dadora devido à remoção do enxerto desse local.^(1,38)

Dias et al. (2014), realizaram um estudo com 32 pacientes apresentando recessão gengival que foram aleatoriamente distribuídos para receber LLLT (grupo experimental, 16 pacientes) ou LLLT placebo (grupo controlo, 16 pacientes) na área palatina após a remoção

do enxerto de tecido conjuntivo. O laser foi aplicado imediatamente após a cirurgia e diariamente nos 7 dias seguintes. Foram feitas reavaliações aos 7, 14, 45 e 60 dias, sendo que aos 14 e aos 45 a área da ferida, no grupo experimental, era menor em relação ao grupo controle, sendo a diferença estatisticamente significativa. Aos 60 dias, não se verificavam lesões visíveis nos dois grupos.⁽³⁸⁾

Ustaoglu et al. (2017), analisaram a resposta pós-operatória da área dadora de enxerto de gengiva livre em 40 pacientes, tendo-os repartido igualmente por 2 grupos: grupo experimental tratado com LLLT e gaze húmida esterilizada pressionada na área, e grupo controle com a gaze igualmente, mas com o dispositivo laser desligado. A amostra ficou reduzida a 17 pacientes no grupo LLLT e 18 no grupo controle, pois, 5 pacientes não apareceram com regularidade às consultas de reavaliação, que se realizaram 3, 7 14 e 21 dias após a aplicação do laser. Verificou-se um aumento na epitelização significativamente maior no grupo LLLT em relação ao grupo controle aos 14 dias. Verificou-se também uma espessura de tecido no palato maior no grupo LLLT, estatisticamente significativa.⁽¹⁾

Conclui-se assim a existência de um possível benefício da utilização da LLLT em áreas dadoras de enxertos de mucosa.

4.7.2. Aplicações em Tecidos Duros

O osso tem a capacidade de se auto-regenerar. No entanto, essa capacidade pode ser perdida ou reduzida. Estudos *in vivo* e *in vitro* têm vindo a demonstrar que a LLLT pode, de uma maneira não térmica, promover a ativação de fatores osteogénicos, podendo também promover a angiogénese, fundamental no processo de formação óssea durante a fase inicial de reparação. Poderá também induzir a estimulação de fotorreceptores da cadeia respiratória mitocondrial, aumento dos níveis de ATP celular e estabilização da membrana celular. Análises histopatológicas têm revelado que a LLLT estimula diversos fatores relacionados de forma íntima com a remodelação óssea, tais como a colagénio sintetase, o recetor ativador do fator nuclear Kappa-B (RANK), o ligando desse recetor (RANKL) e a osteoprotegerina.^(2,39,40)

4.7.2.1. Expansão Rápida Maxilar (RME)

A expansão rápida maxilar consiste na separação da sutura média palatina. Uma das principais complicações da RME consiste na recidiva do tratamento, sendo a insuficiente regeneração óssea na região da sutura média palatina uma das principais causas. A LLLT mostrou um aumento remodelação óssea da sutura média palatina, tanto durante como depois da RME.^(4,41)

Cepera et al. (2012), realizou um estudo com 27 crianças, 14 a realizar expansão rápida maxilar em conjunto com o laser e 13 a realizar apenas expansão rápida maxilar. Foi realizada uma ativação completa no primeiro dia e meia em cada um dos seguintes dias até se atingir a correção. No grupo laser verificou-se uma significativa diminuição da densidade óssea durante o período de abertura, uma densidade aumentada durante a fase final da avaliação e a partir do momento da paragem da ativação. Em contrapartida, no grupo sem laser, não se verificam diferenças estatisticamente significativas na densidade óssea em qualquer período da avaliação. Concluiu-se que o laser facilitou a abertura da sutura média palatina durante a fase de expansão e aumentou a regeneração óssea durante a fase de retenção.⁽⁴⁾

4.7.3. Exemplos de outras aplicações

Estão também descritas aplicações clínicas de LLLT no tratamento da mucosite, em endodontia, nevralgia do trigémio, entre outras.^(6,15,19)

Todos os resultados, apesar de promissores, devem ser analisados com precaução.

4.8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA LLLT

Vantagens:^(15,20,25)

- Diminui o tempo de reparação dos tecidos;
- Terapia indolor, não invasiva;
- Sem efeitos adversos relatados;
- O resultado mais negativo que se pode obter com esta terapia é não surtir nenhum efeito no tecido;
- Elevado número de aplicações clínicas.

Desvantagens/Contraindicações:^(15,18,20,25)

- Luz visível pulsada em baixa frequência (<30 Hz), pode originar uma convulsão em pacientes com epilepsia fotossensível;
- Não aplicar diretamente sobre o feto em desenvolvimento numa grávida, consequências desconhecidas;
- Não aplicar diretamente sobre lesões malignas nem sobre a glândula tiroide;
- Evitar irradiar pacientes com alterações de coagulação.

V. Conclusão

A LLLT tem demonstrado aplicações no tratamento de lesões herpéticas, úlceras aftosas, mucosites após quimioterapia e radioterapia, enxertos de mucosa, na disjunção e regeneração óssea em expansões rápidas palatinas, em endodontia, na nevralgia do trigêmio, com resultados positivos e promissores.

LLLT é uma terapia que se baseia no poder bioestimulante da luz laser, promovendo a reparação celular, redução da inflamação e redução da dor, de um modo não térmico.

A radiação, ao atingir a mitocôndria, será absorvida pelos fotorreceptores da cadeia respiratória mitocondrial, estimulando, desse modo, a produção de ATP, ROS e AMPc, conducentes a uma série de mecanismos fundamentais na reparação tecidual.

Esta terapia apresenta como principais benefícios a redução significativa do tempo de reparação e redução do desconforto, ser indolor e não invasiva, apresentar elevado número de aplicações clínicas e ausência de efeitos adversos conhecidos.

Muitos dos insucessos relacionados com a LLLT têm-se relacionado com erros na seleção dos parâmetros como a dose e fonte luminosa, pelo que o desenvolvimento de protocolos com parâmetros específicos para as diversas aplicações clínicas desta terapia se revela fundamental. Estas falhas podem estar relacionadas com a resposta bifásica da luz à dose de radiação, em que existe uma dose ótima e doses mais altas ou mais baixas se revelam ineficazes.

Futuros estudos, com desenhos mais rigorosos e amostragens superiores, deverão ser realizados, de modo a corroborar os resultados obtidos e conferir um grau superior de evidência a esta terapia.

VI. Bibliografia

1. Ustaoglu G, Ercan E, Tunali M. Low-Level Laser Therapy in Enhancing Wound Healing and Preserving Tissue Thickness at Free Gingival Graft Donor Sites: A Randomized, Controlled Clinical Study. *Photomed Laser Surg.* 2017;35(4):223–30.
2. Santinoni S, Francine H, Oliveira F, Eduardo V, Batista DS, Aparecido C, et al. Journal of Photochemistry & Photobiology , B : Biology Influence of low-level laser therapy on the healing of human bone maxillofacial defects: A systematic review. *J Photochem Photobiol B Biol* [Internet]. 2017;169:83–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.03.004>
3. Najeeb S, Khurshid Z, Zohaib S, Najeeb B, Qasim S Bin, Zafar MS. Management of recurrent aphthous ulcers using low-level lasers: A systematic review. *Med* [Internet]. 2016;52(5):263–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.medic.2016.07.006>
4. Cepera F, Torres FC, Scanavini MA, Paranhos LR, Capelozza Filho L, Cardoso MA, et al. Effect of a low-level laser on bone regeneration after rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2012;141(4):444–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.10.023>
5. Aggarwal H, Pal Singh M, Nahar P, Mathur H, Sowmya G V. Efficacy of low-level laser therapy in treatment of recurrent aphthous ulcers - A sham controlled, split mouth follow up study. *J Clin Diagnostic Res.* 2014;8(2):218–21.
6. Bjordal JM, Bensadoun RJ, Tuner J, Frigo L, Gjerde K, Lopes-Martins RA. A systematic review with meta-analysis of the effect of low-level laser therapy (LLLT) in cancer therapy-induced oral mucositis. *Support Care Cancer.* 2011;19(8):1069–77.
7. Meirav M, Enrico R, Elisabetta M, Carlo F, Marco M, Maddalena M, et al. LLLT efficacy evaluation in swelling and pain control after the extraction of lower impacted third molars: "in vivo" study [abstract]. *Lasers Med Sci* [Internet]. 2013;28(6):1421. Available from: <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id>

=L71280934%5Cnhttp://dx.doi.org/10.1007/s10103-013-1431-1%5Cnhttp://limo.libis.be/resolver?&sid=EMBASE&issn=02688921&id=doi:10.1007%2Fs10103-013-1431-1&atitle=LLLT+efficacy+evaluation

8. Ravera S, Ferrando S, Agas D, De Angelis N, Raffetto M, Sabbieti MG, et al. 1064 nm Nd:YAG laser light affect transmembrane mitochondria respiratory chain complexes. *J Biophotonics* [Internet]. 2019;e201900101. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jbio.201900101>
9. Aykol G, Baser U, Maden I, Kazak Z, Onan U, Tanrikulu-Kucuk S, et al. The Effect of Low-Level Laser Therapy as an Adjunct to Non-Surgical Periodontal Treatment. *J Periodontol* [Internet]. 2011;82(3):481–8. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1902/jop.2010.100195>
10. Hino CT, Angeletti P, Ferreira LM, Gomes HC, Pereira MD. Effect of low-level laser therapy (GaAlAs) on bone regeneration in midpalatal anterior suture after surgically assisted rapid maxillary expansion. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology* [Internet]. 2010;109(3):e38–46. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.10.043>
11. Suter VGA, Sjölund S, Bornstein MM. Effect of laser on pain relief and wound healing of recurrent aphthous stomatitis: a systematic review. *Lasers Med Sci.* 2017;32(4):953–63.
12. Kahraman SA, Cetiner S, Strauss RA. The Effects of Transcutaneous and Intraoral Low-Level Laser Therapy After Extraction of Lower Third Molars: A Randomized Single Blind, Placebo Controlled Dual-Center Study. *Photomed Laser Surg* [Internet]. 2017;35(8):401–7. Available from: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/pho.2016.4252>
13. Hamblin MR, Victor M, Sousa P De. *Handbook of Low-Level Laser Therapy* edited by. 2017. 1117 p.
14. Ballal NV, Kundabala M, Bhat KS. Lasers general principles: A review. *Clin Dent Res Compend.* 2013;(July):133–48.
15. Convissar RA. *Princípios e práticas do laser na odontologia*: Elsevier Brasil; 2011.

16. Coluzzi DJ, Sasaki KM, Aoki A, Koshy G, Romanos GE, Yukna RA, et al. Periodontal and peri-implant wound healing following laser therapy. *Periodontol* 2000. 2015;68(1):217–69.
17. Valiente C, Garrigó MI. *laserterapia y laserpuntura para estomatología*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2006 . 108p.
18. Lizarelli R. *Protocolos clínicos odontológicos uso do laser de baixa intensidade*. Ribeirão Preto: Return Propaganda e Criatividade; 2010. 88p.
19. Metin R, Tatli U, Evlice B. Effects of low-level laser therapy on soft and hard tissue healing after endodontic surgery. *Lasers Med Sci*. 2018;33(8):1699–706.
20. Pandeshwar P, Roa MD, Das R, Shastry SP, Kaul R, Srinivasreddy MB. Photobiomodulation in oral medicine: a review. *J Investig Clin Dent*. 2016;7(2):114–26.
21. Huang YY, Chen ACH, Carroll JD, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level lighththerapy. *Dose-Response*. 2009;7(4):358–83.
22. Ahad A, Tasneem S, Lamba AK, Khan S. Healing of self-inflicted thermal injury of palatal mucosa by low-level laser therapy. *Spec Care Dent*. 2017;37(6):314–7.
23. Chung H, Dai T, Sharma SK, Huang YY, Carroll JD, Hamblin MR. The nuts and bolts of low-level laser (Light) therapy. *Ann Biomed Eng*. 2012;40(2):516–33.
24. Asnaashari M, Safavi N. Application of Low level Lasers in Dentistry (Endodontic). *J lasers Med Sci* [Internet]. 2013;4(2):57–66. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25606308><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4281979>
25. Carroll JD, Milward MR, Cooper PR, Hadis M, Palin WM. Developments in low level light therapy (LLLT) for dentistry. *Dent Mater* [Internet]. 2014;30(5):465–75. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2014.02.006>
26. Guo S, DiPietro LA. Critical review in oral biology & medicine: Factors affecting wound healing. *J Dent Res*. 2010;89(3):219–29.

27. Amaroli A, Ravera S, Baldini F, Benedicenti S, Panfoli I, Vergani L. Photobiomodulation with 808-nm diode laser light promotes wound healing of human endothelial cells through increased reactive oxygen species production stimulating mitochondrial oxidative phosphorylation. *Lasers Med Sci.* 2019;34(3):495–504.
28. Engel KW, Khan I, Arany PR. Cell lineage responses to photobiomodulation therapy. *J Biophotonics.* 2016;9(11–12):1148–56.
29. De Freitas LF, Hamblin MR. Proposed Mechanisms of Photobiomodulation or Low-Level Light Therapy. *IEEE J Sel Top Quantum Electron.* 2016;22(3):1–37.
30. Rola P, Doroszko A, Derkacz A. The Use of Low-Level Energy Laser Radiation in Basic and Clinical Research. *Adv Clin Exp Med.* 2015;23(5):835–42.
31. Rupel K, Zupin L, Colliva A, Kamada A, Poropat A, Ottaviani G, et al. Photobiomodulation at Multiple Wavelengths Differentially Modulates Oxidative Stress In Vitro and In Vivo . *Oxid Med Cell Longev.* 2018;2018:1–11.
32. Khan I, Arany P. Biophysical Approaches for Oral Wound Healing: Emphasis on Photobiomodulation. *Adv Wound Care.* 2015;4(12):724–37.
33. Fatemi S-M, Zand N, Djavid GE, Fateh M, Shirkavand A, Ataie-Fashtami L. Promoting Wound Healing in Minor Recurrent Aphthous Stomatitis By Non-Thermal, Non-Ablative CO₂ Laser Therapy: A Pilot Study . *Photomed Laser Surg.* 2012;30(12):719–23.
34. Lalabonova H, Daskalov H. Clinical assessment of the therapeutic effect of low-level laser therapy on chronic recurrent aphthous stomatitis. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2014;28(5):929–33.
35. Akerzoul N, Chbicheb S. Low laser therapy as an effective treatment of recurrent aphthous ulcers: A clinical case reporting two locations. *Pan Afr Med J.* 2018;30:1–8.
36. Al-Maweri SA, Kalakonda B, AlAizari NA, Al-Soneidar WA, Ashraf S, Abdulrab S, et al. Efficacy of low-level laser therapy in management of recurrent herpes labialis: a systematic review. *Lasers Med Sci.* 2018;33(7):1423–30.
37. Muñoz Sanchez PJ, Capote Femenías JL, Díaz Tejeda A, Tunér J. The Effect of 670-

- nm Low Laser Therapy on Herpes Simplex Type 1. *Photomed Laser Surg.* 2011;30(1):37–40.
38. Martinho FC, Santamaria MP, Dias SBF, Jardini MAN, Fonseca MVA, Junior MS, et al. Effect of GaAlAs low-level laser therapy on the healing of human palate mucosa after connective tissue graft harvesting: randomized clinical trial. *Lasers Med Sci.* 2014;30(6):1695–702.
39. Garcia VJ, Arnabat J, Comesaña R, Kasem K, Ustrell JM, Pasetto S, et al. Effect of low-level laser therapy after rapid maxillary expansion: a clinical investigation. *Lasers Med Sci* [Internet]. 2016;31(6):1185–94. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10103-016-1970-3>
40. de Freitas Pontes KM, Ferreira FNH, Kurita LM, Gondim JO, de Araújo MWA, dos Santos PCF, et al. Effects of low-level laser therapy on bone regeneration of the midpalatal suture after rapid maxillary expansion. *Lasers Med Sci* [Internet]. 2016;31(5):907–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10103-016-1933-8>
41. Davoudi A, Amrolahi M, Khaki H. Effects of laser therapy on patients who underwent rapid maxillary expansion; a systematic review. *Lasers Med Sci.* 2018;33(6):1387–95.

VII. Anexos do Capítulo I

Anexo 1. Índice de abreviaturas, siglas e acrónimos

AMPc Adenosina monofosfato cíclico

AP-1 Proteína ativadora 1

ATP Adenosina trifosfato

bFGF Fator de crescimento de fibroblastos básico

Canais Na-K Canais sódio-potássio

CO₂ Dióxido de carbono

COX-1 Cicloxigenase 1

COX-2 Cicloxigenase 2

DNA Ácido desoxirribonucleico

GMPc Guanina monofosfato cíclico

GSK3 β 3 beta glicogénio sintetase

Hz Hertz

IL-1 Interleucina 1

IL-8 Interleucina 8

KGF Fator de crescimento de queratinócitos

LASER Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Laser GaAlAs Laser de arseneto de gálio e alumínio

Laser GaAs Laser de arseneto de gálio

Laser HeNe Laser de hélio e néon

Laser InGaAlP Laser de índio gálio alumínio e fósforo

Laser Nd:YAG Laser de granada de ítrio e alumínio dopada com neodímio

LED Light Emitting Diode

LLLT Terapia Laser de Baixa Intensidade

mRNA Ácido ribonucleico mensageiro

NF κ B Fator nuclear Kappa B

nm Nanómetro

NO Óxido nítrico

O₂ Oxigénio

OPG Osteoprotegerina

PGE₂ Prostaglandina E₂

PPAR γ Recetor ativado por proliferador de peroxissoma gama

RANK Recetor ativador do fator nuclear Kappa B

RANKL Ligando do recetor ativador do fator nuclear Kappa B

RNA Ácido ribonucleico

ROS Espécies reativas de oxigénio

RUNX2 Fator de transcrição relacionado ao Runt 2

sPLA₂ Fosfolipase secretória A₂

TGF- β Fator transformador de crescimento beta

TNF- α Fator de necrose tumoral alfa

VEGF Fator de crescimento endotelial vascular

Anexo 2. Tabelas e Figuras

Tipo de reação	Temperatura (°C)
Hipertermia	37-43
Declínio da atividade enzimática	43-50
Coagulação proteica	50-60
Dano no colagénio e efeito na membrana celular	70-80
Destruição molecular	80-100
Carbonização	100-140
Descamação	140-400
Corte	500-800

Tabela 1 Reações tecidulares por influência térmica. Adaptado de "Application of Low level lasers in Dentistry (Endodontic)"

Curvas de Absorção Finais Aproximadas de Vários Componentes Teciduais

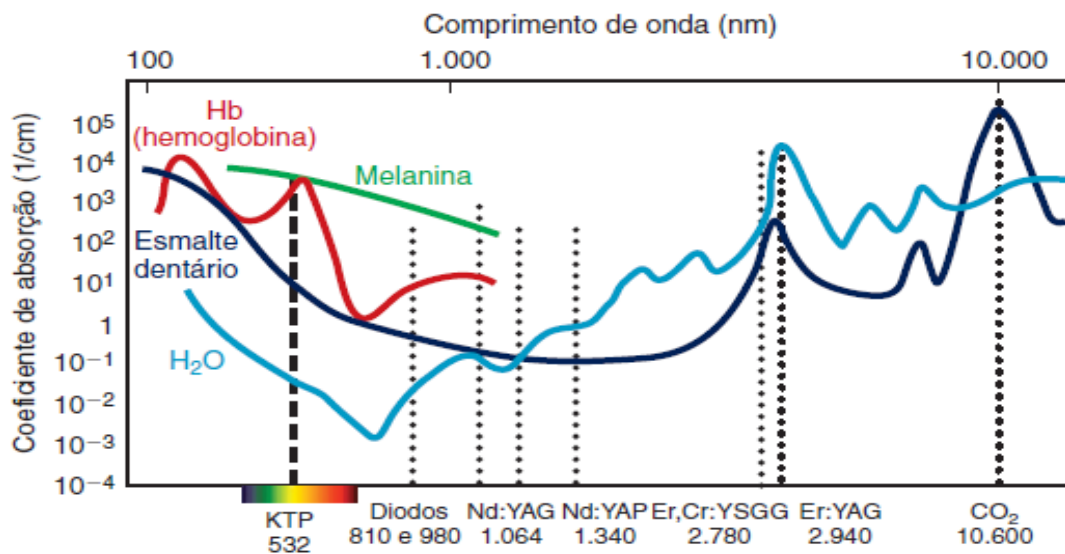


Figura 3 Curvas de absorção dos principais cromóforos para os comprimentos de onda dos diferentes lasers. Adaptado de "Convissar RA. Princípios e práticas do laser na odontologia: Elsevier Brasil; 2011"

Lesões	Autor do Artigo	Comprimento de onda nm	Potência mW/W	Energia J	Modo de Emissão	Frequência Hz	Área de Irradiação cm ²	Densidade de potência W/cm ²	Densidade de energia J/cm ²	Número de sessões, distância de irradiação à lesão, tempo de aplicação
Úlceras Aftosas	Lalalanova et al.	Díodo 638 nm	27 mW		Onda Contínua	5.8 Hz	0,5 cm ² Incluindo área adjacente à mucosa		2 J/cm ²	1 aplicação diária até sintomas desaparecerem. T=1.14 m minutos
	Aggarwall et al.	Díodo 810 nm	0,5 W							4 sessões, 2-3 mm, 45 segundos cada, intervalo de 30-60 segundos entre lesão, tempo total de irradiação de 3 minutos
Lesões Herpéticas	Al-Maweri et al. (Revisão Sistemática)	632.5-870 nm	5 mW- 80 W		Onda Contínua e Pulsada				2.04-48 J/cm ²	
Enxertos Mucosa	Dias et al.	GaAlAs 660 nm	30 mW		Onda Contínua				15 J/cm ²	20 segundos, em 5 pontos de irradiação (3 J/cm ² e 4s por ponto)
	Ustaoglu et al.	GaAlAs 940nm	3 W		Onda Contínua		2.8 cm ²	1.07 W/cm ²	8.6J/cm ²	1mm, 8 segundos em cada aplicação, 4 sessões
Expansão Rápida Maxilar	Cepera et al.	780 nm	40 mW	4 J			0,04 cm ²		10 J/cm ²	Foram irradiados 10 pontos junto à sutura média palatina.

Tabela 4 Parâmetros LLLT para cálculo de dose dos artigos analisados.

Capítulo II – Relatório das Atividades Práticas das Unidades Curriculares de Estágio

I. Relatório Final dos Estágios

O estágio do Metrado Integrado em Medicina Dentária do Instituto Universitário de Ciências da Saúde abrange três componentes: Estágio em Clínica Geral Dentária, Estágio em Clínica Hospitalar e Estágio em Saúde Oral Comunitária, tendo decorrido entre setembro de 2018 e junho de 2019.

1.1 Estágio em Clínica Geral Dentária

O Estágio em Clínica Geral Dentária, regido pela Professora Doutora Filomena Salazar, foi realizado na Clínica Universitária Filinto Baptista, no Instituto Universitário de Ciências da Saúde, em Gandra – Paredes. Este estágio apresentou uma carga horária de 5 horas semanais, tendo decorrido à terça-feira das 19h00-24h00, entre os dias 11 de setembro de 2018 a 11 de junho de 2019. Foi supervisionado pelo Mestre João Baptista e Mestre Paula Malheiro.

Esta componente permitiu a prática de uma Medicina Dentária generalista, tendo sido aplicado o conhecimento adquirido das várias áreas da Medicina Dentária, o que possibilitou aumentar a autonomia, confiança e capacidade de decisão clínica, proporcionando as aptidões necessárias para o exercício da profissão.

Os atos clínicos efetuados durante este período estão indicados na seguinte tabela:

Ato clínico	Operador	Assistente	Total
Triagem	1	1	2
Dentisteria	6	9	15
Endodontia	1	5	6
Destartarização	4	4	8
Exodontia	3	3	6
Outros	4	1	5
Total	19	23	42

Tabela 5 Atos clínicos realizados no Estágio em Clínica Geral Dentária

1.2 Estágio em Clínica Hospitalar

O Estágio em Clínica Hospitalar, regido pelo Professor Doutor Fernando Figueira, foi realizado no Hospital Nossa Senhora da Conceição, pertencente ao Centro Hospitalar de S. João, em Valongo. Este estágio apresentou uma carga horária de 3,5 horas semanais, tendo decorrido à sexta-feira das 9h00-12h30, entre os dias 14 de setembro de 2018 a 14 de junho de 2019. Foi supervisionado no 1º semestre, pela Doutora Ana Azevedo e Mestre Rita Cerqueira e no 2º semestre, pela Mestre Rita Cerqueira.

Este estágio possibilitou o contacto com pacientes que apresentavam características especiais, nomeadamente diversas patologias crónicas, sistémicas, limitações cognitivas e motoras, além de pacientes polimedicados. Esta componente permitiu, assim, desenvolver competências pessoais e profissionais na abordagem deste tipo de pacientes.

Os atos clínicos efetuados durante este período estão indicados na seguinte tabela:

Ato clínico	Operador	Assistente	Total
Triagem	2	0	2
Dentisteria	26	27	53
Endodontia	5	5	10
Destartarização	12	11	23
Exodontia	29	26	55
Outros	0	4	4
Total	74	73	147

Tabela 6 Atos clínicos realizados no Estágio em Clínica Hospitalar

1.3 Estágio em Saúde Oral Comunitária

O Estágio em Saúde Oral Comunitária apresentou uma carga horária de 3,5 horas semanais, tendo decorrido à segunda-feira das 9h00-12h30, entre os dias 10 de setembro de 2018 a 3 de junho de 2019, sob a regência do Professor Doutor Paulo Rompante.

Este estágio apresentou uma componente teórica, que consistiu na realização de seis tarefas na área da saúde oral que permitiram a consolidação de conhecimentos e desenvolvimento de aptidões profissionais e pessoais de forma intervir e melhorar a saúde

pública. Uma das tarefas consistiu na realização de um projeto de rua, com o objetivo de divulgar e suscitar o interesse sobre várias áreas da medicina dentária e ainda promover a saúde oral de uma forma didática junto da população. Este projeto teve lugar no pátio exterior da Estação de Metro da Trindade, no Porto.

A componente prática decorreu no Estabelecimento Prisional de Paços de Ferreira, entre os dias 15 de outubro de 2018 a 15 de abril de 2019 e no Centro Hospitalar do Médio Ave – Unidade Hospitalar de Santo Tirso, entre os dias 3 de dezembro de 2018 a 29 de abril de 2019. Ambos apresentaram uma carga horária de 3,5 horas semanais, tendo decorrido à segunda-feira das 9h00-12h30 de forma alternada. A prática clínica no Estabelecimento Prisional de Paços de Ferreira decorreu sob a supervisão da Mestre Ana Barbosa, e no Centro Hospitalar do Médio Ave – Unidade Hospitalar de Santo Tirso sob a supervisão do Professor Doutor Paulo Rompante. Esta componente prática, permitiu a promoção da saúde oral, contribuir para a melhoria da qualidade de vida e assegurar o acesso à prestação de cuidados de saúde oral por parte da população reclusa e indivíduos em situação de carência económica.

Os atos clínicos referentes à prática clínica estão indicados na seguinte tabela:

Ato clínico	Operador	Assistente	Total
Triagem	2	3	5
Dentisteria	1	6	7
Endodontia	2	2	4
Destartarização	0	4	4
Exodontia	3	3	6
Outros	3	3	6
Total	11	21	32

Tabela 7 Atos clínicos realizados no Estágio em Saúde Oral Comunitária