

Bruna Rita Lourenço Dias

Utilização de laser dídodo na regressão de lesões apicais

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2023

Bruna Rita Lourenço Dias

Utilização de laser dído na regressão de lesões apicais

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências da Saúde

Porto, 2023

Bruna Rita Lourenço Dias

Utilização de laser díodo na regressão de lesões apicais

Trabalho apresentado à Universidade Fernando
Pessoa como parte dos requisitos para obtenção do
grau de Mestre em Medicina Dentária

Resumo

Objetivo: Esta revisão integrativa tem como objetivo compreender a eficiência do laser díodo na regressão das lesões apicais, respondendo à seguinte questão: “será que o laser díodo é eficaz na regressão de lesões apicais?”

Métodos: Pesquisa bibliográfica nas bases de dados PubMed, B-on e Science Direct conforme os critérios de inclusão (estudos clínicos e *in vitro*, limite temporal 2013-2023, escritos em inglês, português e espanhol, artigos relacionados com o tema com acesso livre e na íntegra).

Resultados: Obteve-se no total 5481 artigos nas bases de dados, sendo selecionados 8 para subsequente análise dos objetivos, materiais e métodos e resultados alcançados.

Conclusões: Não obstante à necessidade de mais estudos com maior follow-up, relacionados com o tema e da estipulação de um protocolo de aplicação clínico, o laser díodo demonstrou-se eficaz na regressão das lesões apicais.

Palavras-chave: “Endodontics”, “diode laser”, “periapical lesion”, “antimicrobial photodynamic therapy”, “root canal treatment”, “intracanal irradiation”

Abstract

Objective: This integrative review aims to understand the efficiency of the diode laser in the regression of apical lesions, answering the following question: “Is the diode laser effective in the regression of apical lesions?”.

Methods: Bibliographic search in PubMed, B-on and Science Direct databases according to the inclusion criteria (clinical and *in vitro* studies, time limit 2013-2023, written in English, Portuguese and Spanish, articles related to the theme with free access and in full).

Results: A total of 5481 articles were obtained from the databases, and 8 were selected for subsequent analysis of the objectives, materials and methods and results achieved.

Conclusions: Notwithstanding the need for further follow-up studies related to the topic and the stipulation of a clinic application protocol, the diode laser has been shown to be effective in regressing apical lesions.

Keywords: “Endodontics”, “diode laser”, “periapical lesion”, “antimicrobial photodynamic therapy”, “root canal treatment”, “intra canal irradiation”

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por me ter dado a bênção de sobreviver quando ninguém acreditava que seria possível. Obrigada por me ter concebido esse milagre e por sempre guiar o meu caminho.

Um obrigado enorme aos meus pais, Carla Ferreira Lourenço e José Luís Feiteira Dias, que são o meu pilar, a minha base, o meu porto seguro. Grata por sempre me permitirem voar e por estarem sempre de braços abertos para mim. Obrigada por todos os ensinamentos e valores que me transmitem, levarei comigo para a vida.

Um obrigado especial à minha avó, Maria de Lurdes Ferreira da Gama, a pessoa mais especial da minha vida, a minha maior inspiração. És humildade em pessoa. Tens o melhor coração de todos, transmites bondade para cada pessoa com quem te cruzas. Continua a ser a mulher guerreira que sempre foste, tenho muito orgulho em ser tua neta.

Agradeço aos meus avós paternos, que apesar de não estarem fisicamente presentes, estão sempre no meu pensamento. Obrigada por serem os meus anjos da guarda e olharem sempre por mim. Estarão sempre no meu coração. Espero que estejam orgulhosos, esta é por vocês.

À minha irmã Bárbara Lourenço Dias, que me acompanha desde o meu primeiro segundo de vida. Obrigada por sempre me protegeres. Grata por Deus me ter dado a bênção de ser tua gémea, é maravilhoso partilhar todas as etapas da vida ao teu lado.

À minha irmã Maria Leonor Lourenço Dias, que veio alegrar as nossas vidas, a nossa pequenina, a nossa Nono. Obrigada por me apoiares sempre e por seres a alegria e boa disposição em pessoa. É um privilégio ver-te crescer. Gosto muito de ti.

Aos meus amigos pessoais, que estiveram sempre ao meu lado durante estes cinco anos, que foram casa no porto. Obrigada por todos os momentos felizes que partilhámos, levo-os comigo para a vida.

Obrigada ao meu orientador Professor Doutor Miguel Albuquerque, por todos os ensinamentos e conhecimentos que me transmitiu durante esta jornada, e por toda a disponibilidade.

Obrigada à Universidade Fernando Pessoa, por ter sido a minha segunda casa durante a etapa mais bonita da minha vida.

Obrigada à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, a universidade onde realizei um dos meus maiores sonhos, grata por me terem acolhido da melhor maneira, por todos os ensinamentos e momentos. Levo-os comigo no coração.

Por fim, obrigada aos meus amigos de Aveiro, que sempre me apoiaram e me incentivaram a ser cada dia melhor. Grata por terem feito parte desta caminhada.

Índice

| | |
|--|----------|
| I. Introdução | 1 |
| 1. Materiais e métodos | 2 |
| 1.1. Metodologia | 2 |
| 1.2. Critérios de elegibilidade | 3 |
| 1.3. Colheita de dados | 4 |
| II. Desenvolvimento | 5 |
| 1. Resultados | 5 |
| 1.1. Miranda e Colombo (2018) | 5 |
| 1.2. Masilionyte e Gutknecht (2018) | 6 |
| 1.3. Silva <i>et al.</i> (2019) | 8 |
| 1.4. Khan, Karim e Mirza (2020) | 9 |
| 1.5. Bytyki <i>et al.</i> (2021) | 10 |
| 1.6. Chunikhin <i>et al.</i> (2021) | 11 |
| 1.7. Dragana <i>et al.</i> (2023) | 11 |
| 1.8. Pelozo <i>et al.</i> (2023) | 12 |
| 2. Lesão apical | 13 |
| 2.1. Conceito | 13 |
| 2.2. Tipos de lesão apical | 14 |
| 2.3. Microbiota | 14 |
| 2.3.1. Etiologia microbiana da periodontite apical | 15 |
| 2.3.2. Etiologia microbiana do abscesso apical | 16 |
| 2.3.3. Fatores influenciadores | 16 |
| 3. Laser | 16 |
| 3.1. Conceito | 16 |
| 3.2. Considerações históricas sobre o laser | 17 |
| 3.3. Lasers na Medicina Dentária | 17 |
| 3.3.1. Lasers em Endodontia | 17 |
| 3.4. Aplicações clínicas | 18 |
| 3.5. Contraindicações da aplicação do laser | 18 |
| 4. Laser díodo | 18 |
| 4.1. Conceito | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2. Efeitos da aplicação do laser díodo | 19 |
| 4.2.1. Fatores condicionantes | 19 |
| 4.3. Vantagens do laser díodo | 20 |
| 4.4. Desvantagens do laser díodo | 21 |
| 5. Terapia fotodinâmica | 21 |
| 5.1. Conceito | 21 |
| 5.2. Tipos de fotossensibilizadores | 21 |
| 5.3. Fotossensibilizador ideal | 23 |
| 5.4. Mecanismo de ação | 23 |
| 5.5. Vantagens da terapia fotodinâmica | 23 |
| 5.6. Desvantagens da terapia fotodinâmica | 24 |
| 6. Discussão | 24 |
| III. Conclusão | 28 |
| IV. Bibliografia | 29 |

Lista de tabelas

| | |
|---|---|
| Tabela 1. Palavras-chave e termos MESH | 2 |
| Tabela 2. Fórmula de pesquisa | 3 |
| Tabela 3. Critérios de elegibilidade | 3 |

Lista de figuras

Figura 1. Fluxograma de PRISMA 4

Lista de abreviaturas

% - percentagem

mL – mililitros

µL – microlitros

nm – nanómetros

mW – megawatt

W – Watt

Hz – hertz

µm – micrómetros

mg – miligramas

cm² – centímetro quadrado

mm – milímetro

mm² – milímetro quadrado

> - maior que

SCR – sistema de canais radiculares

TENC – tratamento endodôntico não cirúrgico

Laser – amplificação de luz por emissão estimulada de radiação

MESH – medical subject healings

PDT – terapia fotodinâmica

NaOCl – hipoclorito de sódio

EDTA – ácido etilenodiamino tetra-acético

Ca(OH)₂/CH – hidróxido de cálcio

PAI – índice periapical

DNA – ácido desoxirribonucleico

aPDT – terapia fotodinâmica antimicrobiana

OPN – osteoporina

ALP – fosfatase alcalina

PCNA – antigénio nuclear de proliferação celular

Laser Nd:YAG - neodymium-doped yttrium aluminum garnet laser

Laser Er:YAG - erbium-doped yttrium aluminum garnet laser

Laser Er,Cr:YSGG - erbium, chromium-doped yttrium scandium gallium garnet laser

Laser Nd:YAP - neodymium: yttrium-aluminum-perovskite laser

I. Introdução

Na cavidade oral, uma diversidade de microrganismos coexistem em equilíbrio. Aquando a ocorrência da carência de cuidado com a higiene oral associada a outros fatores de risco, tais como, o uso de tabaco e álcool em excesso, é desencadeado um desequilíbrio na microbiota oral, levando ao aparecimento de lesões cariosas. A progressão da cárie dentária e falta de deteção da mesma conduz ao atingimento da polpa dentária e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de uma infeção polimicrobiana no sistema de canais radiculares (SCR), resultando no aparecimento de patologias pulpareas, sendo estas, pulpite reversível, pulpite irreversível e necrose pulpar.

A privação de deteção precoce e tratamento das alterações pulpareas irreversíveis conduz, com o desenrolar do tempo, a uma necrose pulpar. Em virtude da perda de vitalidade pulpar, o organismo perde a capacidade de defesa perante a infeção microbiana decorrente no interior do canal radicular. Face à incapacidade do hospedeiro em eliminar a microbiota do SCR, este degrada o tecido apical – reabsorção do osso periapical e superfície radicular, com o objetivo de tentar localizar a infeção e de prevenir a sua disseminação, decorrendo o desenvolvimento de uma lesão apical (Salinas-Muñoz *et al.*, 2017 e Jacob *et al.*, 2021). Por conseguinte, compreende-se que a lesão apical é uma doença inflamatória e uma sequela da infeção polimicrobiana, com predominância de microrganismos anaeróbios Gram-negativos, presente no SCR, que, cronicamente, evolui para um processo inflamatório em torno do ápice do dente envolvido, resultando em destruição da zona apical (Jacob *et al.*, 2021; Chunikhin *et al.*, 2021 e Shah, Ponappa e Ponnappa, 2022). A persistência deste tipo de diagnóstico periapical apresenta-se à Medicina Dentária Conservadora como um desafio clínico.

Ao longo das décadas têm vindo a ser desenvolvidas várias opções terapêuticas para manejo destas lesões, sendo uma delas o tratamento endodôntico não cirúrgico (TENC). Esta terapia tem como objetivo a criação de um ambiente estéril e livre de bactérias no SCR, através da desinfeção químico-mecânica por meio do uso de várias soluções irrigantes. Diversos fatores, tais como, a complexa anatomia da raiz e dos canais radiculares (presença de istmos, anastomoses, canais laterais e ramificações) e as propriedades únicas da flora bacteriana residente dificultam o atingimento deste objetivo (Morsy *et al.*, 2018 e Jacob *et al.*, 2021).

Atualmente, no ramo da Endodontia, têm sido desenvolvidas certas técnicas adjuvantes ao tratamento endodôntico não cirúrgico convencional, de modo a melhorar a desinfeção do SCR, bem como, a redução da microbiota pulpar, com a finalidade de aumentar a taxa de sucesso do

TENC. O laser (Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação) é um dispositivo que gera um feixe de luz, no qual todos os fótons se encontram num estado coerente (Bansode *et al.*, 2016). Este é usado como terapia adjuvante devido à sua ação bactericida, que consiste na degradação permanente da membrana celular das bactérias e alteração da sua parede celular através do calor irradiado pelo aparelho (Morsy *et al.*, 2018). O laser é passível de ser empregue em três modos distintos – uso da luz laser para irradiação direta da parede do canal, uso da luz laser para ativação dos irrigantes do canal radicular e terapia fotodinâmica antimicrobiana (Meire *et al.*, 2022). Segundo Silvestre *et al.*, 2021, a terapia fotodinâmica antimicrobiana consiste na ativação de um fotossensibilizador por uma fonte de luz com um comprimento de onda específico, gerando espécies reativas de oxigénio tóxicas para os microrganismos, causando a morte celular. Dentro dos diversos lasers empregues como terapia adjuvante encontra-se o laser díodo.

Neste âmbito, a realização desta dissertação tem como objetivo compreender a eficácia do laser díodo na regressão das lesões apicais, respondendo, deste modo, à seguinte questão: “Será que o laser díodo é eficaz na regressão de lesões apicais?”

1. Materiais e métodos

1.1 Metodologia

Para a execução desta revisão integrativa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados PubMed, B-on e Science Direct. Assim, utilizaram-se as seguintes palavras-chave e termos Medical Subject Headings (MESH) (tabela 1).

Tabela 1. Palavras-chave e termos MESH

| Palavras-chave: | Termos MESH: |
|--------------------------|-------------------------|
| - Diode laser | - Periapical diseases |
| - Periapical lesion | - Laser therapy |
| - Intracanal irradiation | - Lasers, semiconductor |
| - Endodontics | |
| -Root canal therapy | |

Com base nestas palavras-chave e termos MESH foram efetuadas as seguintes combinações nas bases de dados referidas anteriormente (tabela 2).

Tabela 2. Fórmula de pesquisa

| Base de dados | Combinações |
|----------------|---|
| PubMed | <ul style="list-style-type: none"> - “Lasers, semiconductor” [Mesh] AND “Periapical diseases” [Mesh] - “Periapical lesion” AND “Diode laser” - “Laser therapy” [Mesh] OR “Intracanal irradiation” AND “Periapical lesion” - “Periapical diseases” [Mesh] AND “Laser Therapy” [Mesh] - “Lasers, semiconductor” [Mesh] OR “Diode laser” AND “Periapical diseases” [Mesh] - “Diode laser” AND “Endodontics” - “Periapical disease” AND “Root canal therapy” |
| B-on | <ul style="list-style-type: none"> - “Diode laser” AND “Periapical lesion” AND “Endodontics” AND “Intracanal irradiation” |
| Science Direct | <ul style="list-style-type: none"> - “Periapical lesion” AND “Diode laser” - “Diode laser” OR “Intracanal irradiation” AND “Periapical lesion” - “Periapical diseases” [Mesh] AND “Laser therapy” [Mesh] - “Diode laser” AND “Endodontics” - “Diode laser” AND “Endodontic” AND “Periapical lesion” |

Após a realização das combinações referidas na tabela 2, foram encontrados 5481 artigos nas três bases de dados.

1.2 Critérios de elegibilidade

Posteriormente, foi realizada uma seleção dos artigos, cujo limite temporal se encontra compreendido entre 2013 e 2023, segundo os seguintes critérios de elegibilidade – critérios de inclusão e critérios de exclusão (tabela 3).

Tabela 3. Critérios de elegibilidade

| Critérios de inclusão | Critérios de exclusão |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de estudo: estudos clínicos e <i>in vitro</i> - Idioma: português, inglês e espanhol | <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de estudo: estudos que não sejam estudos clínicos e <i>in vitro</i> - Idioma: outro idioma que não seja português, inglês e espanhol |

| | |
|---|--|
| - Acesso: livre acesso e artigos na íntegra, cuja temática encontra-se relacionada com o objetivo da dissertação - Data de publicação: 2013-2023 | - Acesso: artigos que não tenham livre acesso, que não se encontrem na íntegra e cuja temática não esteja relacionada com o objetivo da dissertação - Data de publicação: inferior a 2013 |
|---|--|

1.3 Colheita de dados

Após aplicação dos critérios de elegibilidade (critérios de inclusão e critérios de exclusão) referidos na tabela 3 e remoção dos duplicados, os artigos foram seleccionados, primeiramente pelo título, de seguida, pela leitura do resumo e, por fim, pela sua leitura integral. Deste modo, foram seleccionados no total 8 artigos, tal como segue ilustrado na figura 1.

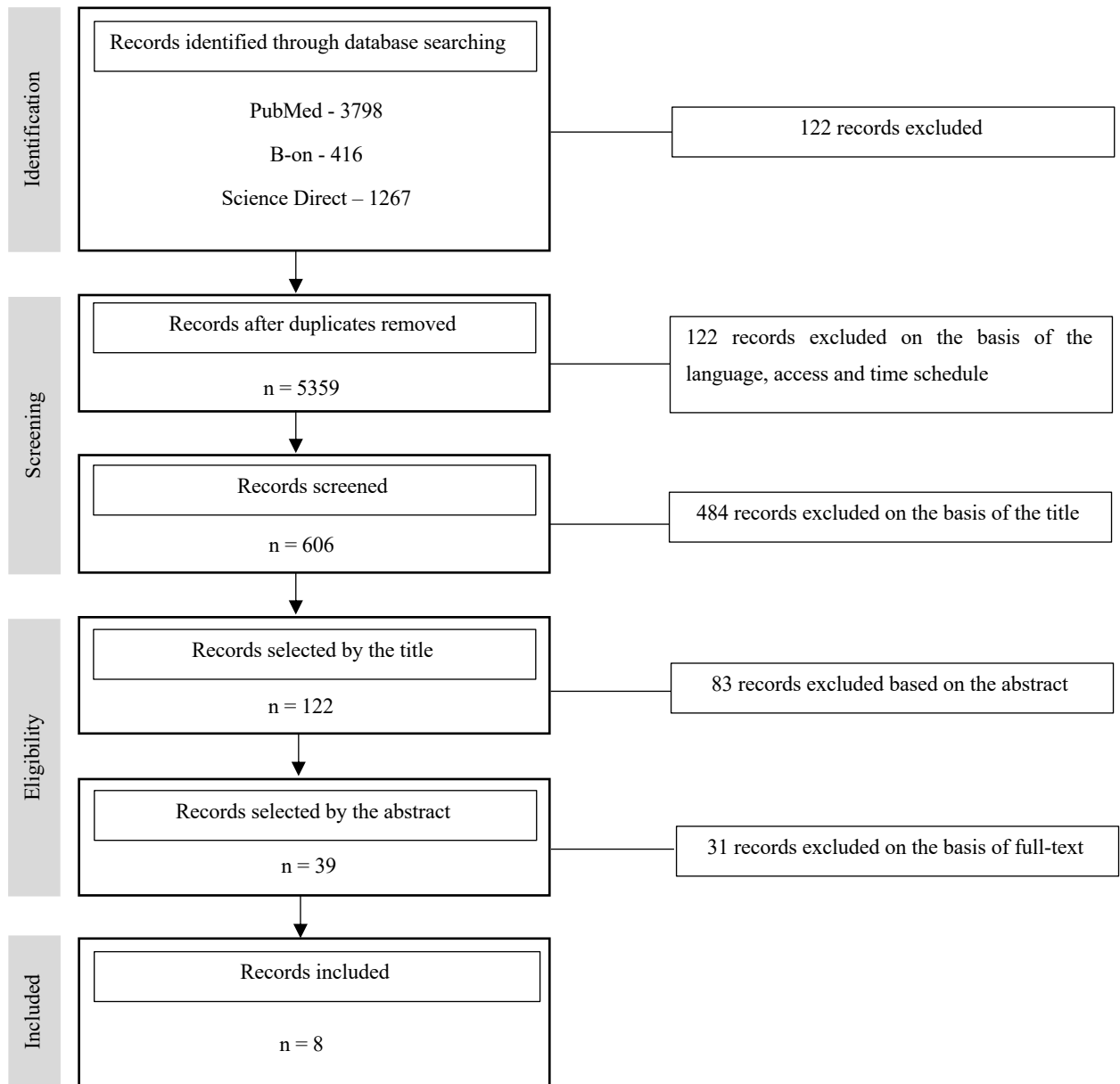


Figura 1. Fluxograma de PRISMA

II. Desenvolvimento

1. Resultados

Concluída a fase de pesquisa integrativa a cerca do impacto do laser díodo na regressão das lesões apicais, foram obtidos 8 artigos que evidenciaram a repercussão do laser díodo na cicatrização das lesões apicais, nomeadamente um estudo *in vitro* e sete estudos *in vivo*.

A fim de compreender melhor a literatura selecionada, são relatados abaixo os objetivos, materiais e métodos e resultados dos respetivos estudos selecionados, que subsequentemente serão analisados e discutidos.

1.1. Miranda e Colombo (2018)

Este estudo clínico randomizado tem como objetivo avaliar a eficácia da terapia fotodinâmica (PDT), comparando-a com o TENC, no sucesso clínico (cicatrização periapical) e microbiológico (redução e/ou eliminação da microbiota) em dentes necróticos com periodontite apical. Os pacientes foram recrutados conforme os critérios de inclusão (primeiros e segundos molares, com necrose pulpar e com evidência radiográfica de periodontite apical) e de exclusão (pacientes com menos de 18 anos, diabéticos, grávidas ou a amamentar, existência de histórico de antibioticoterapia e/ou terapia anti-inflamatória nos últimos três meses, necessidade de profilaxia antibiótica, presença de tratamento endodôntico, dentes com bolsas periodontais superiores a 4mm e com complexidades anatómicas ou estrutura que impedem o isolamento adequado). Assim, dos 211 pacientes, apenas 32 foram incluídos no estudo. Deste modo, 16 pacientes foram alocados em cada grupo:

- Grupo controlo: desbridamento químico-mecânico + medicação intracanal
- Grupo PDT: desbridamento químico-mecânico + PDT + medicação intracanal

Em ambos os grupos, o campo operatório foi desinfetado com solução de peróxido de hidrogénio a 30%, seguido de NaOCl 5.25%. O desbridamento químico-mecânico do SCR foi executado por meio do uso das limas rotatórias ProTaper Universal, utilizando NaOCl 5.25% como irrigante. A irrigação final foi realizada com recurso a NaOCl 5.25%, EDTA 17% seguido de NaOCl 5.25%. No grupo PDT, os canais foram lavados com tiosulfato de sódio 5% por 1 minuto, solução salina 0.85% e secos. Posteriormente, foi inserido no canal 0.5ml de azul de metileno por 5 minutos e aplicado por 5 minutos o laser díodo 660nm, com potência de 100mW

e diâmetro de 0.3mm da fibra ótica, que foi introduzida até ao comprimento de trabalho através de um movimento circular e vertical. O fotossensibilizador foi removido através da lavagem do canal com 10mL de solução salina 0.85% e, de seguida, foi aplicada pasta de hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) no canal, mantida por 7-10 dias. Ultrapassado este tempo, a medicação intracanal foi removida usando limas H e NaOCl 5.25% e os canais foram irrigados com EDTA 17%, seguido de NaOCl 5.25% e obturados.

Paralelamente, foram recolhidas três amostras microbiológicas, com pontas de papel inseridas até ao comprimento de trabalho durante 1 minuto, em três tempos distintos: T1 (imediatamente antes do desbridamento químico-mecânico), T2 (após desbridamento químico-mecânico e irrigação final para o grupo controlo e após desbridamento químico-mecânico, PDT e irrigação final para o grupo PDT) e T3 (antes da obturação). Previamente à recolha de cada amostra, os canais foram lavados com 1mL de tiosulfato de sódio 5% e irrigados com 1mL de solução salina. As pontas de papel foram inseridas nos canais até ao comprimento de trabalho e transferidas para microtubos estéreis e, de seguida, realizou-se o processamento para posterior análise do DNA obtido. Foram também realizadas uma radiografia final e radiografias de acompanhamento aos 3 e 6 meses, de modo a avaliar a cicatrização periapical através do índice periapical (PAI), que consiste em 5 pontuações: 1 – estruturas periapicais normais, 2 – pequenas alterações nas estruturas ósseas, 3 – alterações estruturais ósseas com alguma perda mineral, 4 – periodontite com área radiolúcida bem definida e 5 – periodontite severa com características exacerbadas. Para todas as análises, o nível de significância foi de 5%.

Houve uma redução acentuada na microbiota, tanto na frequência, como na contagem média das espécies, em ambos os grupos ao longo do tempo, no entanto, não existiram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos e entre os pontos de tempo (T1, T2 e T3). Os perfis microbianos em cada tempo de amostragem foram semelhantes entre os grupos. Ambos os grupos apresentaram uma redução das pontuações PAI ao longo do tempo. O grupo PDT obteve uma frequência significativamente maior de pontuações 1 e 2 (81.3%) em relação ao grupo controlo (53.3%) em 6 meses.

1.2. Masilionyte e Gutknecht (2018)

O objetivo deste estudo foi avaliar os resultados, comparando-os, do tratamento endodôntico assistido com laser e do TENC em dentes com periodontite apical. De maneira a ir de encontro ao objetivo, 119 casos foram avaliados de acordo com os critérios de inclusão (presença de

periodontite apical com lesão detetável radiograficamente e existência de radiografias de curto prazo, longo prazo ou ambas) e de exclusão (falta de dados, dentes com pulpite sintomática e polpa vital). Após aplicação dos critérios, 46 casos foram incluídos neste estudo e divididos em dois grupos:

- Grupo laser (n=24): tratamento endodôntico assistido por laser díodo 940nm
- Grupo convencional (n=22): tratamento endodôntico convencional (NaOCl e EDTA ou ácido cítrico, com ou sem medicação intracanal (Ca(OH)₂) entre sessões)

Em ambos os grupos, os dentes foram instrumentados com o auxílio das limas rotatórias ProTaper de níquel titânio. No grupo convencional, os canais foram irrigados com NaOCl 2.5% entre limas, foi aplicada Ca(OH)₂ ou bolinha de algodão com cresophene entre sessões e irrigação com 2.5mL de ácido cítrico, com a finalidade de remover a smear layer previamente à obturação do SCR. No grupo laser, os canais foram irrigados com NaOCl 0.5% de modo a remover o tecido necrótico da polpa, seguido de água destilada. Seguidamente, foram irrigados com EDTA 17%, com o objetivo de remover a smear layer, e água destilada. Após secagem dos canais, estes foram irradiados 4 vezes com o laser díodo 940nm, ponta da fibra de 200µm, potência entre 1-1.3W, através de um movimento circular no sentido ápice-coroa. Os dentes foram irradiados em média duas sessões, dependendo da gravidade da situação. Por fim, procedeu-se à obturação.

Com o propósito de avaliar o resultado, foram efetuadas radiografias antes do tratamento, após obturação, acompanhamentos de curto e longo prazo, através da atribuição de pontuações PAI (referidas anteriormente no estudo de Miranda e Colombo (2018)) e análise da alteração da densidade óssea apical.

No início do tratamento, não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. No que concerne às pontuações PAI no início, curto prazo e longo prazo no grupo convencional/laser foram 4.18/4.17, 3.1/1.89 e 1.86/1.2, respetivamente. No grupo laser, houve uma maior redução das pontuações quando foi realizada mais de uma sessão de irradiação antes da obturação. Concluindo, existiu uma taxa de cicatrização periapical de 72.7% no grupo convencional e de 91.7% no grupo laser.

1.3. Silva *et al.* (2019)

Neste estudo, o objetivo consistiu na avaliação do efeito do tratamento endodôntico com a terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT) na reparação da periodontite apical, comparando com o tratamento endodôntico com medicação intracanal (pasta de hidróxido de cálcio - CH) em cães. Assim sendo, foram avaliados 48 dentes (segundos e terceiros pré-molares superiores, segundos, terceiros e quartos pré-molares inferiores). Após indução da periodontite apical e instrumentação químico-mecânica, por meio do uso de limas k15 a k25 com irrigação com NaOCl 2.5% para remover o tecido pulpar necrótico, seguido de instrumentação com o sistema rotatório universal ProTaper NiTi e irrigação com 3.6mL de NaOCl 2.5% a cada troca de lima. Subsequentemente, os dentes foram distribuídos em 4 grupos:

- Grupo CH 120 dias e 180 dias: colocação da medicação intracanal por 15 dias. Após este tempo, a mesma foi removida através da irrigação com NaOCl 2.5%. Os canais foram irrigados com EDTA durante 3 minutos e obturados.

- Grupo aPDT 120 dias e 180 dias: aplicação do fotossensibilizador cloreto de fenotiazina (10mg/mL, 70 µL) no canal por 1 minuto. Os canais foram irrigados com água destilada estéril, secos e irradiados com laser díodo 660nm (potência de 20mW, irradiância de 60mW/cm², ponta flexível da fibra ótica com diâmetro de 0.6mm) durante 1 minuto, modo onda contínua, com um movimento vertical ápice-coroa. Por fim, o SCR foi irrigado com soro fisiológico, seco e obturado.

Posteriormente, os dentes foram preparados para análise histológica (infiltrado inflamatório periapical, espessura do ligamento periodontal apical, reabsorção do tecido mineralizado, número de células inflamatórias e de vasos sanguíneos e tamanho da lesão periapical) e análise imuno-histoquímica (intensidade da imunocoloração de mediadores de formação óssea: osteoporina (OPN) e fosfatase alcalina (APL)). Para interpretação dos dados foi considerado o nível de significância de 5%.

Relativamente aos parâmetros cemento apical, ligamento periodontal e infiltrado inflamatório, no grupo CH/aPDT, deparou-se com a maioria/algumas das áreas de reabsorção reparadas, aumento ligeiro/moderado com abundantes/poucas fibras de colagénio e escasso e difuso/discreto infiltrado inflamatório, respetivamente. Deste modo, não houve uma diferença estatisticamente significativa no número de células inflamatórias entre os grupos. Quanto ao número de vasos sanguíneos, houve uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos, sendo que o grupo CH apresentou um maior número, sendo estes mais maduros e

maiores, com uma parede mais espessa e maior quantidade de hemácias no seu interior, quando comparado com o grupo aPDT. Relativamente ao tamanho das lesões apicais, esta demonstrou-se – 1.18mm^2 no grupo CH/120dias, 3.29mm^2 no grupo aPDT/120dias, 1.41mm^2 no grupo CH/180dias e 3.25mm^2 no grupo aPDT/180dias. Por fim, a OPN e a APL apresentaram uma imunomarcção mais intensa no grupo CH.

1.4. Khan, Karim e Mirza (2020)

O objetivo deste estudo experimental foi investigar as mudanças morfológicas nas lesões periapicais com a PDT. Além disto, tem como objetivo verificar se a PDT, como adjuvante ao desbridamento convencional do SCR, pode melhorar a cicatrização da resposta inflamatória ao redor do ápice. Com este intuito, os primeiros molares superiores de 60 ratos foram incluídos neste estudo e alocados aleatoriamente em dois grupos:

- Grupo controlo (n=30): desbridamento químico-mecânico convencional através da irrigação do SCR com solução salina e posterior desinfecção por meio de três aplicações de peróxido de hidrogénio.

- Grupo PDT (n=30): os canais foram irrigados com solução salina e desinfetados com peróxido de hidrogénio 3 vezes. Posteriormente, foram secos e o fotossensibilizador azul de metileno 0.01% foi introduzido, no interior dos canais radiculares, o mais próximo das lesões apicais por 5 minutos. De seguida, foram irradiados por 90 segundos com laser díodo de 805nm (potência 20W, ponta da fibra ótica com diâmetro de 0.4mm). Posteriormente procedeu-se à obturação do SCR.

Os dentes foram adaptados para análise histológica e imuno-histoquímica, nas quais dividiram a área periapical em três partes: imediatamente abaixo do ápice, à direita e à esquerda do mesmo e avaliaram, ao redor do ápice e através da imunocoloração, o número de células positivas para PCNA (antigénio nuclear de proliferação celular). Além disto, células positivas para o Stro-1 e CD44 também foram avaliadas histologicamente.

Após um período de controlo de 4 semanas, constatou-se o dobro de células positivas para PCNA no grupo PDT em relação ao grupo controlo, o que demonstrou uma maior proliferação celular. Caracterizando as células encontradas, estas foram detetadas no ligamento periodontal em redor das porções média e apical da raiz mesial, com a presença de citoplasma e núcleo alongado ou ovoide, para o Stro-1 e CD44 respetivamente. Ademais, em torno da lesão

periapical foram achadas células tronco mesenquimais periodontais. Assim sendo, este estudo experimental relata que a PDT é uma mais valia no que concerne à cicatrização da lesão apical.

1.5. Bytyki *et al.* (2021)

Neste estudo *in vitro*, tendo como objetivo avaliar a eficácia antibacteriana do laser díodo 810nm (potência de 1.5W/cm² e diâmetro da fibra ótica de 200µm diâmetro da fibra) durante o tratamento endodôntico, 122 pré-molares unirradiculares foram utilizados para a execução de modelos artificiais de lesões periapicais com três dimensões distintas. Previamente à sua inserção nos modelos de plástico, os dentes foram submetidos à extirpação da coroa e esterilização por meio do uso de EDTA 17%, que posteriormente foi incubado em placas de ágar sangue. Após a criação dos modelos de lesão apical, os dentes em estudo foram divididos da seguinte forma:

- Grupo A: 42 dentes com lesão 14mm de diâmetro, subdivididos em 3 subgrupos ((a) laser díodo 5 minutos, (b) 3 minutos e (c) 1 minuto)
- Grupo B: 40 dentes com lesão 10mm de diâmetro, subdivididos em 3 subgrupos ((a) laser díodo 5 minutos, (b) 3 minutos e (c) 1 minuto)
- Grupo C: 40 dentes com lesão 6mm de diâmetro, subdivididos em 3 subgrupos ((a) laser díodo 5 minutos, (b) 3 minutos e (c) 1 minuto)

Para além da subdivisão de acordo com a duração da irradiação, em todos os grupos os dentes foram subdivididos em amostra controlo, infeção por *Enterococcus faecalis*, e infeção por *Streptococcus mitis* por 7 dias. Por fim, em termos de aplicação do laser díodo, o mesmo foi inserido no canal de modo a atingir o local apical da lesão periapical.

A fim de ir ao encontro do objetivo mencionado, após o estabelecimento da significância estatística de 5%, constatou-se que a eficácia da desinfeção bacteriana é diretamente proporcional à duração da irradiação do laser (62.13% (5 minutos) > 47.55% (3 minutos) > 40.27% (1 minuto)). Em contrapartida, o número de células bacterianas erradicadas é inversamente proporcional à dimensão da lesão (75% (6mm) > 53% (10mm) > 50% (14mm)).

1.6. Chunikhin *et al.* (2021)

O objetivo deste estudo clínico foi comparar a resposta histológica dos tecidos periapicais de 15 dentes, aquando a existência de periodontite apical aguda, perante a aplicação PDT e laser díodo 1265nm. A fim deste propósito, 3 grupos compostos por 5 elementos cada (I – laser díodo 1265nm, modo pulsado (diâmetro da fibra ótica de 400µm, potência de 1.8W) no interior do canal por 3 minutos numa totalidade de 5 sessões, II – PDT 660nm modo contínuo (diâmetro da fibra ótica de 400µm, potência de 0.2W) por 2 minutos após 7 minutos de fotossensibilizador à base de clorina e6, III – controlo) foram elaborados após a preparação químico-mecânica recorrendo ao uso de limas K e irrigação com NaOCl 2.5% e indução de lesão periapical.

Como resultados, deparou-se que o tamanho da lesão e quantidade de células inflamatórias é decrescente na seguinte ordem grupo III > grupo II > grupo I. Para além disto, restos de Malassez e remanescentes da bainha epitelial apenas foram encontrados na análise histológica do grupo controlo. Relativamente ao espaço do ligamento periodontal, constatou-se um aumento nos grupos II e III quando comparado com o grupo I. Em adição a estes resultados, uma moderada neoangiogénese e fibrinogénese foi detetada no grupo I.

1.7. Dragana *et al.* (2023)

Dragana *et al.*, por meio de um estudo clínico, avaliaram a eficácia antimicrobiana do PDT e laser díodo no tratamento da periodontite periapical crónica em dentes anteriores e primeiros pré-molares permanentes em 44 pacientes jovens, selecionados em conformidade com os critérios de inclusão (8-16 anos, ausência de doenças sistémicas, de antibioticoterapia nos últimos três meses, de tratamento endodôntico no dente em questão e de sinal de quadro agudo) e de exclusão (presença de doenças sistémicas que comprometam o sistema imunológico, história de terapia anti-inflamatória ou imunossupressora nos últimos seis meses, necessidade de profilaxia antibiótica prévia ao tratamento e dificuldade em isolar adequadamente o dente em questão). Na totalidade dos dentes em estudo, a preparação químico-mecânica foi executada com posterior colheita de três amostras microbiológicas – duas antes da aplicação do PDT e laser e uma terceira após o emprego dos mesmos - para identificação e quantificação bacterianas. De forma encadeada, os dentes foram alocados aleatoriamente em três grupos de estudo distintos:

- Grupo controlo (n=15): instrumentação com limas K e irrigação com NaOCl 1.5%. Posterior irrigação final com NaOCl 1.5%, seguida de EDTA 17% e, por fim, solução salina estéril.
- Grupo PDT (n=14): instrumentação com limas K e irrigação com NaOCl 1.5%. Posterior irrigação final com NaOCl 1.5% seguida de EDTA 17% e, por fim, solução salina estéril. Os canais foram secos e procedeu-se à aplicação do fotossensibilizador cloreto de fenotiazina 10mg/mL nos canais por 3 minutos. O fotossensibilizador foi removido com pontas de papel e irrigação com água destilada, seguido de irradiação a laser díodo 660nm modo contínuo (potência de 100mW, diâmetro da fibra ótica de 450µm da fibra) por 60 segundos no interior do canal. Por fim, os canais foram irrigados com 5mL de solução salina estéril e secos.
- Grupo laser díodo (=15): instrumentação com limas K e irrigação com NaOCl 1.5%. Posterior irrigação final com NaOCl 1.5% seguida de EDTA 17% e, por fim, solução salina estéril. Os canais foram secos e sucedeu-se à aplicação do laser modo contínuo 940nm (potência 1W, diâmetro da fibra ótica de 200µm da fibra) no interior do canal radicular, a 1mm acima do comprimento de trabalho, no sentido apico-coronal, 3 vezes por 20 segundos com intervalos de pausa de 10 segundos. Ultimamente, o SCR foi irrigado por meio do uso de solução salina estéril e secos.

Após o ensaio microbiológico realizado, os resultados foram analisados com um nível de significância de 5%. Relativamente ao diâmetro da lesão periapical, concluiu-se que houve uma diminuição significativa nos grupos PDT e laser díodo. No que diz respeito à eficácia antimicrobiana, um total de 31% e 53.8% dos canais obtiveram erradicação bacteriana completa nos grupos laser díodo e PDT, respetivamente.

1.8. Pelozo *et al.* (2023)

O citado ensaio clínico randomizado teve como objetivo avaliar o efeito do laser díodo 980nm na desinfecção do SCR e cicatrização periapical da periodontite periapical assintomática. Deste modo, 30 dentes unirradulares foram incluídos neste ensaio clínico conforme os critérios de inclusão (dentes com ápice fechado, sem doença periodontal e curvatura severa com necessidade de retratamento e ausência de doenças sistémicas) e de exclusão (dentes com a presença de fraturas, reabsorções ou perfurações, histórico de antibioticoterapia nos últimos seis meses e gestantes). Os dentes selecionados foram alocados em dois grupos de estudo (grupo laser e grupo placebo). Em cada dente analisado, procedeu-se à recolha de três amostras

microbiológicas – após remoção da obturação (S1), após irradiação do laser díodo/aplicação do placebo (S2) e após retratamento convencional seguida de irradiação do laser/aplicação do placebo (S3). De forma mais detalhada, após desobturação do SCR, irrigação dos canais com 5mL de solução salina estéril e secagem dos mesmos, no grupo laser díodo 980nm modo pulsado (potência de 1.5W, frequência de 100Hz, diâmetro da fibra ótica de 320µm da fibra), a irradiação foi aplicada 1mm aquém do ápice, 4 vezes (5 segundos cada com intervalos de pausa de 10 segundos). Posto isto, os canais foram retratados através do uso de Reciproc R50 acompanhado de irrigação com 6mL de NaOCl 2.5% e 6mL de EDTA 17%, e consequente irrigação com 6mL de NaOCl 2.5% com ponta ultrassónica. De modo a neutralizar o hipoclorito de sódio, procedeu-se à irrigação dos canais, primeiramente com 5mL de tiosulfato de sódio 5% por 1 minuto, seguido de 5mL de solução salina estéril e uma nova aplicação do laser foi realizada. No grupo placebo, o mesmo protocolo foi adotado, porém sem emissão de luz. Em ambos ocorreu a secagem dos canais e aplicação de medicação intracanal. Após um período de 15 dias, o SCR voltou a ser irrigado como descrito anteriormente, secos e obturados.

Relativamente aos resultados das amostras, uma redução microbiana de 0%/0%, 42.44%/0% e 50.87%/52.8% nos momentos S1, S2 e S3 foi relatada nos grupos laser díodo/placebo, nomeadamente. Radiograficamente, a cicatrização apical foi observada aos 3, 6, 9 e 12 meses. Aos 3 meses, 89.3% apresentou cicatrização incompleta, não havendo diferenças entre os grupos. O mesmo não se sucedeu aos 6, 9 e 12 meses, nos quais se constatou que o grupo irradiado com laser obteve uma melhor cicatrização periapical relativamente ao grupo placebo, sendo ela completa em 62% (laser) e 17% (placebo) ao fim de 1 ano.

2. Lesão apical

2.1. Conceito

Entende-se por lesão apical uma resposta desencadeada pelo organismo face à incapacidade de resposta por parte do hospedeiro aos microrganismos etiológicos da infeção do sistema de canais radiculares. Face esta afirmação, de acordo com Karamifar, Tondari e Saghiri (2020), este tipo de dano perirradicular funciona como uma barreira que tem como função restringir os microrganismos com subsequente impedimento da sua disseminação para os tecidos apicais circundantes. De forma mais criteriosa, uma vez instalada a lesão, ocorre a substituição do osso por tecido granulomatoso e formação de uma parede densa de leucócitos polimorfonucleares. Embora o organismo do hospedeiro disponha desta capacidade de gerar uma barreira, de acordo

com o estudo dos mesmos autores relatados anteriormente, um conjunto limitado de microrganismos, mediante a libertação dos seus produtos e toxinas, passam a ser dotados de uma habilidade de atravessar a barreira criada, estabelecendo a lesão perirradicular.

2.2. Tipos de lesão apical

De entre os tipos de lesão apical mais comumente relacionados com a evolução da necrose pulpar encontram-se a periodontite apical e abscesso apical.

Em referência ao primeiro tipo de lesão mencionado, em conformidade com Bains e Bains (2018) e Siqueira e Rôças (2022), a periodontite apical de origem endodôntica corresponde a uma inflamação que se desenvolve em torno do ápice radicular de um dente detentor de uma infeção no seu sistema de canais radiculares.

De forma interligada com a periodontite apical, na ausência de defesas hospedeiras suficientes para dominar a infeção existente, com conseqüente evolução da mesma e com posterior atingimento dos tecidos moles envolventes, o abscesso apical consiste numa doença inflamatória/infeciosa caracterizada por um leque de características, sendo elas, a presença de edema, erosão ou perfuração cortical e existência de pús no periápice do dente envolvido (Siqueira e Rôças, 2013 e Karamifar, Tondari e Saghiri, 2020).

2.3. Microbiota

Sendo causadas por uma etiologia microbiana heterogénea, as lesões apicais podem ser o resultado da interação de diferentes combinações de espécies. Havendo uma predominância significativa de bactérias anaeróbias obrigatórias, estas espécies bacterianas fazem jus da sua capacidade de sobrevivência no que concerne aos locais nos quais se alojam. Deste modo, a maioria das bactérias envolvidas nestas lesões encontram-se aderidas às paredes dentinárias do canal radicular em comunidades de biofilme. Por conseguinte, estas comunidades bacterianas são consideradas a linha da frente mais avançada da infeção no espaço pulpar do canal principal, pelo que podem estar alojadas desde a junção dos terços médio e apical do SCR até ao forâmen apical. De acordo com Siqueira e Rôças (2022), este biofilme não se encontra uniformemente ao longo das paredes do canal, podendo também, eventualmente, se encontrar além do forâmen que o delimita. Com o evoluir da infeção bacteriana, estas comunidades de biofilme podem se disseminar para além do canal principal, alojando-se em áreas radiculares de difícil acesso

endodôntico convencional. Em outros termos, as ramificações apicais, canais laterais, istmos e túbulos dentinários são áreas prediletas para o seu armazenamento, funcionando como reservatórios de infecção residual.

2.3.1. Etiologia microbiana da periodontite apical

Focando no tipo de espécies bacterianas envolvidas na formação da periodontite apical, esta consiste numa comunidade mista com predominância de bactérias anaeróbias obrigatórias. Indo ao encontro desta afirmação, de acordo com Siqueira e Rôças (2022), são constituintes desta comunidade etiológica, bactérias Gram-negativas – *Fusobacterium nucleatum*; *Dialister species*, *Porphyromonas endodontalis*; *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella species*, *Tannerella forsythia* e *Treponema species* – e Gram-positivas – *Parvimonas micra*; *Filifactor alocis*; *Pseudoramibacter alactolyticus*; *Olsenella uli*; *Actinomyces species*; *Streptococcus species*, *Propionibacterium species* e *Cutibacterium acnes*.

Embora o tratamento endodôntico convencional solucione a maioria destes casos, ocasionalmente pode-se verificar três situações indesejáveis – persistência da infecção interradicular, reinfeção gerando uma infecção secundária ou, com menor probabilidade de ocorrência, concepção de uma infecção extrarradicular interligada com uma intrarradicular. De acordo com Siqueira e Rôças (2022), estes três casos culminam no surgimento de uma periodontite apical persistente. A existência deste tipo de periodontite apical, em concordância com os mesmos autores, deve-se a um conjunto de fatores, tais como, infecções interradiculares remanescentes na região apical do canal radicular, infecções extrarradiculares, reações de corpo estranho (extrusão do material obturador ou exógeno) e tecidos cicatriciais fibrosos.

No que concerne à periodontite apical pós-tratamento, a comunidade bacteriana envolvida é mista, no entanto, apresenta uma menor heterogeneidade em comparação com a periodontite apical primária. De forma mais específica, um agregado de bactérias fazem parte do mesmo biofilme causador deste tipo de lesão apical, nomeadamente, *Streptococcus species*; *Actinomyces species*; *Cutibacterium acnes*; *Pseudoramibacter alactolyticus*; *Arachnia propionica* (*Propionibacterium propionicum*); *Dialister species*; *Fusobacterium nucleatum*, *Parvimonas micra* e *Prevotella species* (Siqueira e Rôças, 2022).

De entre as espécies que coexistem na comunidade bacteriana, como estirpe mais prevalente na periodontite apical pós-tratamento encontra-se a *Enterococcus faecalis*.

2.3.2. Etiologia microbiana do abscesso apical

De forma similar à periodontite apical, a gênese microbiana que está na base do desenvolvimento do abscesso apical é considerada mista com predominância das bactérias anaeróbias obrigatórias, dado as condições locais desta doença inflamatória (Siqueira e Rôças, 2022). Estudos realizados por Siqueira e Rôça em 2013 revelam a presença de distintas espécies bacterianas, entre elas, *Actinobacteria* (por exemplo, *Actinomyces* e *Propionibacterium*), *Bacteroidetes* (tal como, *Porphyromonas*, *Prevotella* e *Tannerella*), *Firmicutes* (como *Streptococcus*, *Dialister*, *Filifactor* e *Pseudoramibacter*), *Fusobacteria* (como por exemplo, *Fusobacterium* e *Leptotrichia*), *Proteobacteria* (por exemplo, *Campylobacter* e *Eikenella*), *Spirochaetes* (tal como, *Treponema*) e *Synergistetes* (como por exemplo, *Pyramidobacter*). Não obstante a importância de todas as espécies relatadas, os filótipos *Firmicutes* e *Bacteroidetes* em forma conjunta constituem mais de metade das bactérias detetadas neste tipo de lesão em redor do ápice radicular.

2.3.3. Fatores influenciadores

Embora as espécies bacterianas mencionadas anteriormente estejam na etiologia das lesões apicais relatadas, um conjunto de fatores pode influenciar a sua presença nas mesmas.

No âmbito do tamanho da lesão apical, existe uma relação diretamente proporcional entre este fator e a contagem bacteriana e o número de espécies presentes. Por conseguinte, quanto maior o tamanho da lesão apical, sendo ela periodontite ou abscesso, maior a carga e diversidade de espécies bacterianas.

Por outro lado, no que concerne ao tipo de lesão propriamente dita, de acordo com Siqueira e Rôça (2022), esta interfere na riqueza bacteriana detetada. Assim sendo, segundo os mesmos autores, há uma maior probabilidade em observar uma diversidade de espécies bacterianas superior no abscesso apical em relação à periodontite apical.

3. Laser

3.1. Conceito

Segundo Deepika e Bhatia (2017), é compreendido que o laser corresponde a um aparelho que emite ou amplifica um feixe de luz com um determinado comprimento de onda. Este

comprimento de onda encontra-se estabelecido nos seguintes espectros de luz - visível, infravermelho e ultravioleta. De acordo com os mesmos autores, o laser é composto por dois elementos fundamentais - um meio amplificador e um sistema excitatório do meio amplificador.

3.2. Considerações históricas sobre o laser

Em 1960, Theodore Maiman desenvolveu o laser de rubi. Passados quatro anos, em 1964, Patel desenvolveu o laser de dióxido de carbono, considerado o primeiro laser que demonstrou aplicabilidade nos tecidos duros e moles. No mesmo ano, Geusic criou o laser Nd:YAG (neodymium-doped yttrium aluminum garnet laser). Em 1965, Stern e Sognnaes analisaram a utilização do laser de rubi na Medicina Dentária. Os mesmos autores constataram que o laser descrito era dotado da capacidade de vaporizar o esmalte dentário e, ao nível da polpa dentária, podia causar efeitos térmicos. Num momento posterior, em 1971, Weichman e Johnson realizaram o estudo, no qual selaram, *in vitro*, o forâmen apical por meio do uso do laser de dióxido de carbono de alta potência, correspondendo à primeira aplicação do laser no ramo da Endodontia. No ano de 1990 desenvolveu-se o laser díodo. Nos anos de 1997 e 1998, foi autorizado a utilização do laser Er:YAG (erbium-doped yttrium aluminium garnet laser) e Er,Cr:YSGG (erbium, chromium-doped yttrium scandium gallium garnet laser). Deste modo, ao longo dos anos o laser tem vindo a ser utilizado na Medicina Dentária Conservadora, nomeadamente no ramo da Endodontia (David e Gupta, 2015 e Bansode *et al.*, 2016).

3.3. Lasers na Medicina Dentária

De acordo com Saydjari, Kuypers e Gutknecht (2016), o laser díodo com um comprimento de onda compreendido entre 810nm e 980nm, o laser de neodímio:YAG 1064nm, o laser de dióxido de carbono 10600nm e, por fim, o laser de érbio 2940nm/2780nm são os mais regularmente utilizados na Medicina Dentária.

3.3.1. Lasers na Endodontia

De modo mais detalhado, no contexto da Endodontia são empregues, de um modo mais frequente, seis lasers no tratamento endodôntico – laser díodo, laser de dióxido de carbono, laser Er:YAG, laser Nd:YAG, laser Er,Cr:YSGG, e laser Nd:YAP (neodymium: yttrium-

aluminum-perovskite laser) (Huang *et al.*, 2023). Esta dissertação possui como foco o laser díodo.

3.4. Aplicações clínicas

Segundo Mohan *et al.* (2016), o laser apresenta uma diversidade de aplicações na Medicina Dentária, tais como a identificação da cárie dentária; tratamento da hipersensibilidade dentinária; capeamento da polpa dentária; pulpotomia; desinfecção do SCR; fotossensibilização a laser do SCR; remoção da smear layer; diagnóstico do fluxo sanguíneo pulpar; condicionamento do esmalte; clareamento dentário; gengivectomia, desinfecção das bolsas periodontais e remoção do cálculo dentário. De uma forma mais específica, no contexto da Endodontia, o laser é empregue nos casos em que o dente exibe as seguintes condições – presença de canais laterais que conduzem à existência de um envolvimento pulpar, de pulpíte purulenta, necrose pulpar, abscesso apical e lesões periapicais, situações nas quais a inflamação ou o trauma provocaram reabsorção do ápice radicular e dentes que não obtiveram sucesso após tratamento endodôntico durante o mínimo de três meses (Bansode *et al.*, 2016).

3.5. Contraindicações da aplicação do laser

Embora o laser possua um leque de situações no qual é indicado a sua aplicação no ramo da Endodontia, algumas condições dentárias contraindicam, de alguma forma, a sua empregabilidade. De acordo com Bansode *et al.* (2016), casos de periodontite em estado avançado, dentes detentores de coroas profundas, dentes que apresentem fratura da raiz e peças dentárias cujos canais radiculares se apresentem obliterados impedem a sua aplicabilidade clínica enquanto terapia adjuvante do tratamento endodôntico convencional.

4.. Laser díodo

4.1. Conceito

Sendo um dos lasers empregues no ramo da Endodontia, o laser díodo é composto por um meio ativo que, por sua vez, é um semicondutor formado por índio, gálio e arseneto que se encontram no estado sólido (Morsy *et al.*, 2018). Este laser possui uma fibra fina e flexível a partir da qual a luz é transportada (Pelozo *et al.*, 2023).

4.2. Efeitos da aplicação do laser díodo

De forma paralela à cicatrização periapical induzida pela aplicação do laser díodo no interior do sistema de canais radiculares, alguns efeitos podem ser acarretados através do mesmo, nomeadamente efeitos térmicos e nas superfícies radiculares abrangidas pelo feixe.

No que concerne ao primeiro efeito mencionado, de acordo com Saydjari, Kuypers e Gutknecht (2016), este pode ser inculido face ao uso prolongado do laser combinado com uma alta potência do mesmo.

Em relação aos efeitos provocados nas superfícies radiculares, verifica-se modificações morfológicas dentinárias, dependendo quer da potência do laser, quer dos irrigantes empregues concomitantemente. Em conformidade com o estudo desenvolvido por Faria *et al.* (2013), a irradiação do laser díodo cuja potência é de 1.5W gera uma superfície ligeiramente irregular sem smear layer e túbulos dentinários parcialmente obliterados. De forma similar, no entanto, com maior impacto nas estruturas constituintes da peça dentária, aquando aumento da potência para um valor de 3W averigua-se a ausência de smear layer, obliteração parcial dos túbulos dentinários e início de um processo de fusão da dentina radicular. O mesmo pode ser explicado pelo efeito de aquecimento intercalado com arrefecimento da superfície na interação laser-dentina. Embora a ocorrência deste processo remate para eventuais efeitos prejudiciais para a integridade radicular, de acordo com os mesmos autores relatados previamente, a fusão não é suficientemente forte para enfraquecer a estrutura radicular, conduzindo à sua fratura.

4.2.1. Fatores condicionantes dos efeitos

De acordo com Saydjari, Kuypers e Gutknecht (2016), os efeitos da irradiação do laser aquando a sua aplicação nos tecidos são influenciados por um leque de fatores, nomeadamente no ramo do laser em si, do meio circundante e do tecido propriamente dito.

No que diz respeito ao laser em si, os efeitos provocados pelo mesmo dependem do comprimento de onda empregue e conseqüente absorção pelo tecido; do seu modo de operação; da potência do laser; da quantidade de tempo que permaneceu ativo, ou seja, a duração da irradiação; do seu padrão de repetição, que corresponde à frequência; do mecanismo executado para aplicar o laser, isto é, se ocorreu contacto com ou tecido ou não, focado ou desfocado e se se realizou movimentos rápidos ou em um ponto e, por fim, é influenciado pelo momento no qual o laser foi aplicado.

No que se refere ao segundo efeito relatado, os efeitos provocados pela aplicação do laser estão dependentes do tipo de meio que circunda o tecido no qual o feixe será absorvido. De forma mais detalhada, o meio circundante pode ser ar, água e sangue.

Por último, mas não menos relevante, o impacto que a irradiação do laser promove no tecido deriva do seu coeficiente de absorção, em outras palavras, do comprimento de onda do laser, e do seu coeficiente de condução térmica.

4.3. Vantagens do laser díodo

O laser díodo apresenta ser uma mais valia na Medicina Dentária Conservadora. Tal facto pode ser explicado pelo seu leque variado de benefícios, nomeadamente a facilidade de operação, configuração, versatilidade e tamanho reduzido e a sua capacidade de aceder a regiões do canal radicular inacessíveis aos irrigantes convencionais e instrumentação mecânica. Ademais, a luz do laser penetra profundamente na dentina (profundidade de 1000µm dentro dos túbulos dentinários), com uma mínima interação com a mesma, o que permite uma melhor eficácia bactericida seletiva nos túbulos dentinários contra os microrganismos, principalmente *Enterococcus faecalis*. Além disto, apresenta pouca absorção no tecido dentário duro e uma alta absorção do comprimento de onda em pigmentos como a melanina e hemoglobina, resultando numa eliminação eficaz das bactérias anaeróbias Gram-negativas. Para além destas vantagens, o laser possui um efeito anti-inflamatório, o que auxilia a redução da dor em virtude da minimização dos níveis de prostaglandina, bradicinina, acetilcolina, serotonina e histamina. O laser apresenta a capacidade de acelerar a cicatrização dos tecidos periapicais, uma vez que promove a proliferação e diferenciação das mitocôndrias celulares e conseqüente estimulação da produção do fator de crescimento dos fibroblastos, diminui a quantidade de mediadores inflamatórios e intensifica a neovascularização induzindo o aceleração da osteogénese e tem um poder bioestimulador no tecido ósseo perirradicular. O laser díodo também apresenta a particularidade de provocar um menor aumento da temperatura nos tecidos-alvo quando comparado com os outros lasers empregues na Medicina Dentária. Por fim, mas não menos importante, aquando da utilização do laser de acordo com as configurações recomendadas pelo fabricante e seguindo o protocolo indicado, o mesmo não acarreta efeitos prejudiciais – térmicos e citotóxicos – à dentina e aos tecidos periapicais (Jyotsna *et al.*, 2016; Masilionyte e Gutknecht 2018; Morsy *et al.*, 2018; Moghadam *et al.*, 2021; Anbari *et al.*, 2021; Zou *et al.*, 2021; Rubio *et al.*, 2022, Gharib e Salman, 2023 e Pelozo *et al.*, 2023).

4.4. Desvantagens do laser díodo

Não obstante ao leque variado de vantagens, aquando o uso incorreto do laser depara-se com um efeito térmico nas estruturas dentárias, levando à existência de reabsorção e degeneração radiculares; anquilose da raíz; fusão do cimento, alterações da morfologia dentinária e danificação da dentina pela ação do calor. Por último, uma vez estabelecido o contacto entre a ponta do laser e a parede da dentina, vários danos são induzidos, tais como, a criação de pontos quentes na dentina, rachaduras e fusão (Asnaashari *et al.*, 2016 e Rubio *et al.*, 2022).

5. Terapia fotodinâmica

5.1. Conceito

A terapia fotodinâmica consiste num procedimento terapêutico no qual, primeiramente um fotossensibilizador específico para as espécies bacterianas-alvo é empregue e, posteriormente, retido no tecido-alvo. Subsequentemente, recorre-se à ativação do mesmo por intermédio da exposição à luz visível de um dispositivo de luz que possui um comprimento de onda considerado excitatório para o fotossensibilizador e, perante o qual, o mesmo obtém a capacidade de conter uma absorção alta (Plotino, Grande e Mercade, 2019).

5.2. Tipos de fotossensibilizador

Segundo Silvestre *et al.* (2019) e Plotino, Grande e Mercade (2019), o azul de metileno, azul de toluidina, curcumina, rosa de bengala, pórfito de sódio, verde de malaquita, cloreto de fenotiazina e fotossensibilizador à base de clorina e6 correspondem aos fotossensibilizadores que são mais correntemente aplicados na terapia fotodinâmica. Tendo em consideração a etiologia bacteriana das infeções endodônticas – bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, de forma mista – de acordo com Plotino, Grande e Mercade (2019), os fotossensibilizadores azul de metileno e azul de toluidina demonstram ser os mais adequados no ramo da Endodontia.

Relativamente ao azul de metileno, este é definido como um composto químico aromático considerado um fenotiazínio tricíclico dotado de capacidades antimicrobianas e potencial fototerapêutico (López-Chicón *et al.*, 2016 e Klosowski *et al.*, 2020). O seu efeito antimicrobiano pode ser explicado por ser hidrofílico, dispor de um baixo peso molecular e possuir uma carga positiva. Dado estas propriedades, esta molécula é eficaz contra as bactérias

Gram-negativas, uma vez que, possui o potencial de atravessar os canais de proteína-porina que constituem a membrana externa deste tipo de bactérias. Para além disto, de acordo com Schaeffer *et al.* (2019), dada a sua carga positiva, este fotossensibilizador, por meio da camada de peptidoglicano e ácido lipoteicoico da membrana externa, exibe a competência de interação com as bactérias Gram-positivas, inativando-as. De forma sucinta, o azul de metileno é eficiente perante quer bactérias Gram-negativas, quer bactérias Gram-positivas.

No que concerne ao azul de toluidina, este fotossensibilizador consiste num corante metacromático acidófilo seletivo para os constituintes ácidos dos tecidos, entre os quais, sulfatos, carboxilatos e radicais fosfato. Sendo uma molécula dotada de carga positiva, o azul de toluidina interage com os lipopolissacarídeos, também conhecidos como endotoxinas bacterianas, das bactérias Gram-negativas, tendo um efeito antimicrobiano sobre as mesmas. Relativamente às bactérias Gram-positivas, este corante metacromático acidófilo inativa-as de forma similar ao azul de metileno (Chiniforush *et al.*, 2015).

Apesar de não ser considerado um dos fotossensibilizadores mais adequados para o tratamento das infeções de origem endodôntica segundo Plotino, Grande e Mercade (2019), com base nos oito artigos discutidos e analisados nesta revisão integrativa da literatura, o cloreto de fenotiazina é um dos fotossensibilizadores empregues nos estudos relatados. Focando no cloreto de fenotiazina, este fotossensibilizador faz parte de um grupo de compostos heterocíclicos orgânicos que contêm azoto e enxofre – as fenotiazinas. Em concordância com Fiallos *et al.* (2022), como consequência do grupo ao qual pertence, o cloreto de fenotiazina apresenta uma capacidade antimicrobiana contra as espécies bacterianas envolvidas nas infeções periapicais.

De forma similar ao cloreto de fenotiazina, o fotossensibilizador à base de clorina e6 é um dos fotossensibilizadores empregues nos estudos discutidos nesta revisão da literatura. Em concordância com Afrasiabi *et al.* (2022), a clorina e6 é um derivado da clorofila utilizada na área da saúde. Sendo dotada de dois picos de absorção, – luz azul e luz vermelha – este fotossensibilizador apresenta um efeito antimicrobiano eficaz, pelo que pode ser ativado com lasers cujo comprimento de onda é entre 400nm (luz azul) e 660nm (luz vermelha).

Em relação à concentração no qual o fotossensibilizador escolhido deve ser empregue no interior dos canais radiculares, de acordo com Lacerda, Alfenas e Campos (2014), esta deve estar entre 6µg/ml e 15µg/ml, de modo a ser eficaz a nível antimicrobiano.

5.3. Fotossensibilizador ideal

De modo a ir de encontro ao propósito da terapia fotodinâmica sem causar efeitos indesejáveis nas estruturas dentárias e perirradiculares, o fotossensibilizador empregue, idealmente, deverá cumprir as seguintes características – ausência de toxicidade e de subprodutos tóxicos, incapacidade de provocar mutações, acumulação seletiva no tecido-alvo, ser adequado para aplicação tópica, boa relação custo-benefício, capacidade de absorção alta no espectro da luz emitida, capacidade de permanecer no seu estado de alta energia por um período de tempo considerável e de forma estável (Plotino, Grande e Mercade, 2019).

5.4. Mecanismo de ação

Perante a presença do feixe de luz emitido pelo laser, o fotossensibilizador transita do seu estado fundamental para o seu estado tripleto, isto é, do seu estado de baixa energia para o de alta energia. Esta transferência de estado desperta a presença de moléculas no local-alvo, desencadeando stress oxidativo nas células-alvo. Tendo como objetivo final a morte celular das bactérias envolvidas no processo infeccioso/inflamatório, o seu efeito bactericida pode ocorrer por dois meios distintos – danos à membrana plasmática e/ou ao DNA celular. Não obstante a sua capacidade antimicrobiana, a lesão induzida nas células sucede-se somente quando ocorre a oxidação dos constituintes celulares referidos anteriormente como consequência do domínio das espécies reativas citotóxicas de oxigénio perante as defesas bioquímicas das células. De forma semelhante, a morte celular pode ser desencadeada quando ocorre a inativação do sistema de transporte membranar, inibição das atividades enzimáticas da membrana plasmática e peroxidação lipídica como resposta ao efeito das espécies citotóxicas geradas pela terapia fotodinâmica (Plotino, Grande e Mercade, 2019).

5.5. Vantagens da terapia fotodinâmica

Na medida em que a eficácia da terapia fotodinâmica ocorre através da produção de espécies reativas de oxigénio tóxicas para os microrganismos pela ativação de um fotossensibilizador pela luz do laser como referido anteriormente, esta não libera calor resultando num menor efeito térmico sob os tecidos dentários. Além disto, é um tratamento não invasivo, com um tempo de erradicação bacteriana relativamente curto, seguro e eficaz, com um modo de aplicação mais fácil em comparação com o uso do laser e apresenta a capacidade de acessibilidade a áreas de

difícil acesso, que não são acessíveis pelo método convencional. Dado a necessidade de utilização de baixas concentrações de fotossensibilizador para obter uma seletividade tóxica para os microrganismos que se encontram na presença da luz, é expectável um inesperável desenvolvimento de resistência microbiana. Ademais, otimiza o reparo dos tecidos devido ao facto de ser dotado de capacidade de regular o processo inflamatório. Aliado ao seu efeito profundo na resposta inflamatória, a terapia fotodinâmica acelera a cicatrização dos tecidos periodontais, na medida em que estimula a fibrinogénese, ocorrendo a proliferação de fibroblastos, promove a proliferação e diferenciação dos osteoblastos, induz a proliferação de células PCNA e o crescimento vascular (Ahangari *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2019; Khan, Karim e Mirza, 2020, Chunikhin *et al.*, 2021 e Silvestre *et al.*, 2021).

5.6. Desvantagens da terapia fotodinâmica

Em contrapartida, o facto dos fotossensibilizadores apresentarem características hidrofóbicas, permite que, em conformidade com a concentração empregue, possa ocorrer efeitos tóxicos e uma maior agregação no meio aquoso, diminuindo a sua eficácia. Assim, é possível que se suceda a existência de efeitos nocivos nas células dependendo da concentração administrada. Ademais, apresenta uma reduzida biodisponibilidade contra as células-alvo, o que compromete a sua ação (Mohan *et al.*, 2016, Silva *et al.*, 2019 e Silvestre *et al.*, 2021). Para além destas desvantagens, quando o fotossensibilizador é aplicado em concentrações indevidas, segundo Lacerda, Alfenas e Campos (2014), pode ser desencadeado a coloração da peça dentária. Ademais, este emprego de concentrações altas impede o atingimento das áreas mais profundas do SCR, limitando a eficácia da terapia.

6. Discussão

Segundo Bains e Bains (2018) e Rubio *et al.* (2022), entende-se por lesão periapical uma inflamação ao redor do ápice de um dente, conduzindo à destruição dos tecidos perirradiculares. Esta colonização de microrganismos no periápice, com conseqüente infiltração óssea ocorre com base na existência de um desequilíbrio na remodelação óssea (Salinas-Muñoz *et al.* (2017). De entre o leque de bactérias que estão na génese da lesão periapical, segundo a literatura, a *Enterococcus faecalis* é a espécie mais prevalente neste tipo de patologia. De forma mais específica, a *Enterococcus faecalis* consiste numa bactéria anaeróbia Gram-positiva

frequentemente encontrada na cavidade oral. Dado os seus fatores de virulência, – resistência à medicação intracanal, capacidade de sobrevivência em condições extremas e substância de agregação – este agente etiológico bacteriano é capaz de sobreviver por longos períodos sem nutrientes, invadindo os túbulos dentinários até uma profundidade de 400mm, o que lhe concede a competência de resistir ao tratamento endodôntico convencional. Deste modo, esta bactéria anaeróbia Gram-positiva evidencia estar mais relacionada com a persistência da periodontite apical pós-tratamento endodôntico, em comparação com a sua infeção primária (Alghamdi e Shakir, 2020). Ademais, por meio da sua atividade de bomba de prótons, este microrganismo tem a capacidade de acidificação do meio, levando à formação de um biofilme (Silva *et al.*, 2014; Mohan *et al.*, 2016; Ahangari *et al.*, 2017, Zou *et al.*, 2021 e Gharib e Salman 2023). Com o propósito de alcançar a erradicação deste tipo de espécies bacterianas e, assim, conseguir atingir a cicatrização periapical, a terapia adjuvante, que tem vindo a ser empregue na Endodontia, consiste em qualquer procedimento que vá além da preparação químico-mecânica com os instrumentos e irrigantes que são convencionalmente utilizados (Meire *et al.*, 2022).

O efeito do laser no tecido-alvo é estipulado de acordo com os seguintes parâmetros – comprimento de onda, diâmetro da fibra ótica, modo de emissão, radiação da energia e características físicas do tecido (Pelozo *et al.*, 2023). Dentro do laser díodo, este pode diferir consoante o comprimento de onda, modo de emissão da luz (contínuo e pulsado) e perfil do feixe (Jacob *et al.*, 2021).

Nos estudos analisados anteriormente, o comprimento de onda do laser díodo empregue difere e com ele os seus resultados ao nível da eficácia na cicatrização periapical e antimicrobiana. Podemos constatar que, como resultado, a diminuição da lesão apical foi conseguida na totalidade dos estudos, embora a maior percentagem de sucesso tenha sido alcançada no estudo de Masilionyte e Gutknecht (2018), no qual 940nm foi o comprimento de onda aplicado. O mesmo pode ser explicado pelo alto efeito bactericida e profundo alcance nos túbulos dentinários representativo do laser díodo 940nm.

Ainda sobre as características do laser em si, o modo de emissão é outro fator a ter em conta aquando discussão dos resultados. Tendo como base o estudo de Chunikhin *et al.* (2021), no qual se utilizou o modo contínuo no grupo II e o modo pulsado no grupo I, constatou-se uma maior cicatrização a nível periapical no grupo I. Caracterizando o modo pulsado, este consiste

na emissão da radiação com pequenos períodos de omissão, gerando um menor efeito térmico sobre as células vitais devido à dissipação do calor nos intervalos de interrupção.

No que concerne ao modo de aplicação, os estudos examinados, por meio dos seus resultados, evidenciam a importância do tempo de irradiação ao qual o dente é exposto. De forma mais detalhada, o estudo de Miranda e Colombo (2018) obteve uma eficácia de 81.3% para um total de 5 minutos de irradiação, deduzindo-se que com um maior tempo de irradiação ocorre uma maior atuação da luz laser sobre os tecidos e células-alvo. Em contrapartida, comparando os estudos de Dragana *et al.* (2023) e Pelozo *et al.* (2023), nos quais 1 minuto e 40 segundos foram aplicados, respetivamente, deparou-se com uma cicatrização apical de 31% e 62%, nomeadamente. Tal facto pode ser explicado pela diferença na potência/comprimento de onda empregues, sendo elas 1W/940nm no estudo de Dragana *et al.* (2023) e 1.5W/980nm no estudo de Pelozo *et al.* (2023). Focando na potência do laser, uma vez que esta consiste na quantidade de energia por unidade de tempo, no estudo de Pelozo *et al.* (2023), os tecidos-alvo receberam uma maior quantidade de energia. Aliado a este facto, os mesmos tecidos foram expostos a um comprimento de onda de 980nm o que, segundo os mesmos autores, ocorre absorção da luz pela água e levemente pelos cristais de hidroxiapatite, conduzindo à dispersão da luz do laser e absorção da energia no túbulo dentinário, que também é constituído por água. Consequentemente, ao atingir as células bacterianas, a parede celular rompe-se, aumentando a quantidade de proteínas desnaturadas, que, subsequentemente resulta na lise celular e morte microbiana.

Ainda no âmbito do modo de aplicação, tendo como base os estudos Miranda e Colombo (2018) e Dragana *et al.* (2023) nos quais os fotossensibilizadores azul de metileno e cloreto de fenotiazina, respetivamente, foram empregues na terapia fotodinâmica com o objetivo de regredir a lesão apical com consequente efeito antimicrobiano, depara-se com uma relação entre a utilização do fotossensibilizador e a eficácia bactericida. De forma mais detalhada, no primeiro estudo mencionado, houve uma redução na maioria das espécies envolvidas na infeção, e no segundo estudo relatado, houve uma erradicação completa de 53.8% dos microrganismos.

Tendo como termo de discussão o estudo Bytyqi *et al.* (2021), no qual foram criados três grupos com lesões de 14mm, 10mm e 6mm de diâmetro, consegue-se averiguar a influência do tamanho da lesão com a eficácia da aplicação do laser díodo. Como resultados, as lesões de 14mm apresentaram um sucesso clínico de 50%, as lesões de 10mm apresentaram um sucesso

clínico de 53% e as lesões de 6mm um sucesso clínico de 75%. Esta diferença na taxa de sucesso pode ser deduzida pelo facto de, nas lesões de 10mm e 14mm, o calor produzido pelo laser foi disperso por uma unidade de área maior, focando-se uma menor percentagem de energia numa determinada zona. Este facto comprometeu a eficácia do calor nas células bacterianas. O mesmo não se sucedeu nas lesões de 6mm, nas quais se concentra uma maior quantia de calor numa dada área, tornando a aplicação do laser díodo mais eficiente nos microrganismos e na zona aplicada.

Com base nos estudos analisados existem dois modos de aplicação do laser estudado nesta revisão, nomeadamente terapia fotodinâmica e laser para irradiação do SCR. Contrastando os resultados obtidos nos estudos que fazem uso da terapia fotodinâmica e dos que fazem uso da luz laser para irradiação direta do canal radicular, constata-se uma maior taxa de sucesso clínico neste segundo método de aplicação do laser, uma vez que, segundo Silva *et al.* (2019), a terapia fotodinâmica pode, eventualmente promover efeitos nocivos às células necessárias no processo de cicatrização. Assim sendo, o estudo que obteve maior eficácia no que concerne à cicatrização periapical foi o de Masilionyte e Gutknecht (2018), com 91.7% de eficiência.

Do mesmo modo, pode ser realizada a comparação entre o método convencional e a aplicação de laser díodo na regressão das lesões apicais, na qual o laser apresenta maior sucesso de cicatrização. Tal facto pode ser explicado pela capacidade de estimulação da neoangiogénese, fibrinogénese e osteogénese que o laser díodo faz jus. Ademais, tem o potencial de regular o processo inflamatório que está na génese da lesão periapical (Khan, Karim e Mirza, 2020 e Chunikhin *et al.*, 2021). Relativamente à neoangiogénese, este processo é essencial na formação de novos tecidos, uma vez que permite às células uma fonte de nutrientes necessária à sua diferenciação e proliferação (Silva *et al.*, 2019). Em respeito à fibrinogénese, segundo Masilionyte e Gutknecht (2018), este mecanismo biológico resulta do impacto do laser na atividade das mitocôndrias com consequente estimulação da produção do fator de crescimento de fibroblastos. Esta estimulação das mitocôndrias também conduz a um aceleração da cicatrização da matriz óssea e osteogénese.

Não obstante dos resultados relatados anteriormente, os oito estudos discutidos diferem no tempo de follow-up. Tendo como base para discussão o estudo de Pelozo *et al.* (2023), no qual se apresenta resultados em diferentes tempos de acompanhamento, deteta-se uma maior eficácia com o aumento do tempo de follow-up. Mais criteriosamente, após três meses da aplicação observou-se um avanço no processo de cicatrização em 89.3% das lesões, não havendo

diferenças significativas entre os grupos. Aos seis, nove e doze meses, o grupo que foi irradiado com o laser apresentou uma melhor cicatrização periapical. Ao fim de doze meses, relatou-se uma cicatrização completa em 67% das lesões no grupo laser e 17% das lesões no grupo placebo. Concluiu-se assim a necessidade de uma média de doze meses para obtenção da cicatrização dos tecidos periapicais.

III. Conclusão

Em modo de suma, após análise e discussão dos oito artigos encontrados nas bases de dados, o laser díodo é eficaz na regressão das lesões apicais. Não obstante, um leque de fatores pode influenciar o seu sucesso, nomeadamente, comprimento de onda, modo de emissão e aplicação e tempo de exposição do laser, tamanho da lesão apical em tratamento e duração do follow-up. Deste modo, constatou-se um maior sucesso clínico ao empregar o laser díodo no modo pulsado, com comprimento de onda de 940nm, potência 1 – 1.3W e tempo de irradiação de cinco minutos. Para além disso, verificou-se uma maior eficácia em lesões de menor diâmetro e uma necessidade de uma média de doze meses para alcance da cicatrização periapical. Verificou-se também uma maior taxa de eficiência nos estudos *in vivo*.

Mais estudos serão necessários nesta área com a finalidade de evidenciar a sua eficácia clínica, particularmente o estabelecimento de um protocolo de aplicação clínico e estudos com um maior tempo de seguimento a longo prazo para uma comparação de resultados mais fundamentada.

Deste modo, a aplicação do laser díodo é uma mais valia na Medicina Dentária Conservadora como terapia adjuvante do tratamento endodôntico convencional em dentes que apresentam lesões apicais.

IV. Bibliografia

- Afrasiabi, S. *et al.* (2022). The Potential Application of Natural Photosensitizers Used in Antimicrobial Photodynamic Therapy against Oral Infections, *Pharmaceuticals*, 15(6), pp. 1-11.
- Ahangari, Z. *et al.* (2017). Comparison of the Antimicrobial Efficacy of Calcium Hydroxide and Photodynamic Therapy Against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* in Teeth With Periapical Lesions; An In Vivo Study, *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 8(2), pp. 72-78.
- Alghamdi, F. e Shakir, M. (2020). The influence of *Enterococcus faecalis* as a Dental Root Canal Pathogen on Endodontic Treatment: A Systematic Review, *Cuerus*, 12(3), pp. 1-10.
- Anbari, F. *et al.* (2021). Effect of an 810nm Diode Laser on the Healing of a Periapical Abscess, *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 12(3), pp. 1-4.
- Asnaashari, M. *et al.* (2016). Comparison of the Antibacterial Effect of 810 nm Diode Laser and Photodynamic Therapy in Reducing the Microbial Flora of Root Canal in Endodontic Retreatment in Patients With Periradicular Lesions, *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 7(2), pp. 99-104.
- Bains, R. e Bains, V. K. (2018). Lesions of endodontic origin: An emerging risk factor for coronary heart diseases, *Indian Heart Journal*, 70(3), pp. 431-434.
- Bansode, P. V. *et al.* (2016). Lasers in Endodontics: A Literature Review, 15(12), pp. 87-91.
- Bytyqi, A. *et al.* (2021). Disinfection of Infected Artificial Dental Periapical Lesions with Diode Laser: An In Vitro Study, *Medical Science Monitor Basic Research*, 27(932492), pp. 1-7.
- Chiniforush, N. *et al.* (2015). Clinical Approach of High Technology Techniques for Control and Elimination of Endodontic Microbiota, *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 6(4), pp. 139-150.
- Chunikhin, N. A. *et al.* (2021). Morphological Assessment of the Effect of Nanosecond Diode Laser Radiation With a Wavelength of 1265 nm on Periodontal Tissue in the Treatment of Apical Periodontitis: An Experimental Study, *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 12(43), pp. 1-7.
- David, C. M. e Gupta, P. (2015). Lasers in Dentistry: A Review, *International Journal of Advanced Health Sciences*, 2(8), pp. 7-13.
- Deepika e Bhatia, R. (2017). Laser Technology: A Review, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 5(3), pp. 1-4.
- Dragana, R. *et al.* (2023). Antibacterial efficiency of adjuvant photodynamic therapy and high-power diode laser in the treatment of young permanent teeth with chronic periapical periodontitis. A prospective clinical study, *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 41(103129), pp. 1-9.
- Faria, M. I. A. *et al.* (2013). Effects of 980-nm diode laser on the ultrastructure and fracture resistance of dentine, *Lasers in Medical Science*, 28(1), pp. 275-280.
- Fiallos, N. M. *et al.* (2022). The Potential of Phenothiazines against Endodontic Pathogens: A Focus on *Enterococcus-Candida* Dual-Species Biofilm, *Antibiotics*, 11(11), pp. 1-13.
- Gharib, D. S. H. e Salman, R. F. (2023). Feasibility of the crude extracts of *Amorphophallus paeoniifolius* and *Colocasia esculenta* as intracanal medicaments in endodontic therapy in comparison to the 940 nm diode laser: An *in vitro* antimicrobial study, *Journal of Dental Sciences*, 18(1), pp. 145-156.
- Huang, Q. *et al.* (2023). Current Applications and Future Directions of Lasers in Endodontics: A Narrative Review, *Bioengineering*, 10(3), pp. 1-18.
- Jacob, V. P. *et al.* (2021). Can laser therapy used in endodontic treatment improve apical periodontitis repair? A systematic review, *Lasers in Dental Science*, 5(2), pp. 91-97.
- Jyotsna, S. V. *et al.* (2016). Effect of Diode Laser on Bacteria Beyond the Apex in Relation to the Size of the Apical Preparation – An In-Vitro Study, *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(5), pp. 63-65.
- Karamifar, K., Tondari, A. e Saghiri, M. A. (2020). Endodontic Periapical Lesion: An Overview on the Etiology, Diagnosis and Current Treatment Modalities, *European Endodontic Journal*, 5(2), pp. 54-67.
- Khan, S. Z., Karim, S. e Mirza, S. (2020). Effect of photodynamic therapy on the morphological changes of periapical inflammation: An experimental study in rats, *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 31(101839), pp. 1-5.
- Klosowski, E. M. *et al.* (2020). The photodynamic and direct actions of methylene blue on mitochondrial energy metabolism: A balance of the useful and harmful effects of this photosensitizer, *Free Radical Biology and Medicine*, 153(1), pp. 34-53.
- Lacerda, M. F. L. S., Alfenas, C. F. e Campos, C. N. (2014). Terapia fotodinâmica associada ao tratamento endodôntico – revisão de literatura, *RFO, Passo Fundo*, 19(1), pp. 115-120.
- López-Chicón, P. *et al.* (2016). In vitro Antimicrobial Photodynamic Therapy Against *Trichophyton mentagrophytes* Using New Methylene Blue as the Photosensitizer, *Actas Dermosifilográficas*, 107(9), pp. 765-770.

- Masilionyte, M. e Gutknecht, N. (2018). Outcome of 940-nm diode laser-assisted endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a retrospective study of clinical cases, *Lasers in Dental Science*, 2(3), pp. 169-179.
- Meire, M. A. *et al.* (2022). Effectiveness of adjunct therapy for the treatment of apical periodontitis: A systematic review and meta-analysis, *International Endodontic Journal*, pp. 1-20.
- Miranda, R. G. e Colombo, A. P. V. (2018). Clinical and microbiological effectiveness of photodynamic therapy on primary endodontic infections: a 6-month randomized clinical trial, *Clinical Oral Investigations*, 22(4), pp. 1751-1761.
- Moghadam, M. D. *et al.* (2021). Comparative efficacy of depotphoresis and diode laser for reduction of microbial load and postoperative pain, and healing of periapical lesions: a randomized clinical trial, *Giornale Italiano di Endodonzia*, 35(2), pp. 75-87.
- Mohan, D. *et al.* (2016). Photoactivated disinfection (PAD) of dental root canal system – An ex-vivo study, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(1), pp. 122-127.
- Morsy, D. A. *et al.* (2018). Postoperative pain and antibacterial effect of 980 nm diode laser versus conventional endodontic treatment in necrotic teeth with chronic periapical lesions: A randomized control trial, *F1000 Research*, 7(1795), pp. 1-14.
- Pelozo, L. L. *et al.* (2023). Adjuvant therapy with a 980-nm diode laser in root canal retreatment: randomized clinical trial with 1-year follow-up, *Lasers in Medical Science*, 38(1), pp. 1-11.
- Plotino, G., Grande, N. M. e Mercade, M. (2019). Photodynamic Therapy in endodontics, *International Endodontic Journal*, 52(6), pp.760-774.
- Rubio, F. *et al.* (2022). Photobiomodulation therapy and endodontic treatment of teeth with apical periodontitis using 940-nm diode laser. Report of two cases, *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 14(3), pp. 298-302.
- Salinas-Muñoz, M. *et al.* (2017). Bone resorptive activity in symptomatic and asymptomatic apical lesions of endodontic origin, *Clinical Oral Investigations*, 21(8), pp. 2613-2618.
- Saydjari, Y., Kuypers, T. e Gutknecht, N. (2016). Laser Application in Dentistry: Irradiation Effects of Nd:YAG 1064 nm and Diode 810 nm and 980 nm in Infected Root Canals-A Literature Overview, *BioMed Research International*, 2016(1), pp. 1-10.
- Schaeffer, B. *et al.* (2019). Photodynamic therapy in endodontics: literature review, *Journal of Oral Investigations*, 8(1), pp. 86-99.
- Shah, D., Ponappa, M. C. e Ponnappa, K. C. (2022). Evaluation of Effect of Low Level Laser Therapy with Intracanal Medicament on Periapical Healing: A Randomised Control Trial, *Indian Journal of Dental Research: Official Publication of Indian Society for Dental Research*, 32(3), pp. 299-304.
- Silva, E. J. *et al.* (2014). Evaluation of photodynamic therapy using a diode laser and different photosensitizers against *Enterococcus faecalis*, *Acta Odontologica Latinoamericana: AOL*, 27(2), pp. 63-65.
- Silva, L. A. B. *et al.* (2019). Comparison of apical periodontitis repair in endodontic treatment with calcium hydroxide-dressing and aPDT, *Brazilian Oral Research*, 33(092), pp. 1-13.
- Silvestre, A. L. P. *et al.* (2021). Current applications of drug delivery nanosystems associated with antimicrobial photodynamic therapy for oral infections, *International Journal of Pharmaceutics*, 592(120078), pp. 1-16.
- Siqueira, J. F. e Rôças, I. N. (2013). Microbiology and Treatment of Acute Apical Abscesses, *Clinical Microbiology Reviews*, 26(2), pp. 255-273.
- Siqueira, J. F. e Rôças, I. N. (2022). Present status and future directions: Microbiology of endodontic infections, *International Endodontic Journal*, 55(3), pp. 512-530.
- Zou, Z. *et al.* (2021). Effect of using diode laser on *Enterococcus faecalis* and its lipoteichoic acid (LTA) in chronic apical periodontitis, *Lasers in Medical Science*, 36(5), pp. 1059-1066.