

# **INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

## **MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA**

### **A UTILIZAÇÃO DE LASER E DA TERAPIA FOTODINÂMICA ANTIMICROBIANA NO TRATAMENTO DA PERIODONTITE**

Trabalho submetido por  
**Emma Bénédicte HENRION**  
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

**junho de 2025**



# **INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

## **MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA**

### **A UTILIZAÇÃO DE LASER E DA TERAPIA FOTODINÂMICA ANTIMICROBIANA NO TRATAMENTO DA PERIODONTITE**

Trabalho submetido por  
**Emma Bénédicte HENRION**  
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por  
**Prof. Doutora Catarina Pequito Izidoro de Sousa Pinto**

**junho de 2025**



## **Dedicatória**

Aos meus pais, por todo o apoio  
e por me terem permitido  
tornar-me médica dentista.



## **Agradecimentos**

Antes de mais, gostaria de agradecer à minha orientadora, a Prof. Doutora Catarina Pequito Izidoro de Sousa Pinto, por toda a ajuda, apoio e disponibilidade demonstrados ao longo da redação desta dissertação.

Agradeço também ao Instituto Universitário Egas Moniz, bem como a todos os professores que me transmitiram os seus conhecimentos e a sua experiência, permitindo-me, assim, concretizar este projeto.

À mes parents, pour tout le soutien que vous m'avez apporté durant ces cinq années à distance. Merci d'avoir fait la personne que je suis aujourd'hui. Tout cela, c'est grâce à vous, je vous aime fort.

À papy et mamy, pour les appels à n'en plus finir et la foi que vous avez mise en moi et en ma réussite. Sans vous, rien de tout cela n'aurait été possible.

À ma famille, pour avoir toujours cru en moi. J'ai hâte de vous retrouver.

À Docteur Becker, pour m'avoir permis d'entrer dans ma future vie professionnelle de manière plus rassurante. Merci pour tout ce que vous m'avez déjà apporté.

À mes amis de France, Jeanne, Flavien, Émeline, merci d'être toujours à mes côtés depuis tant d'années, même à distance.

À mes amis de Lisbonne, Cam, Pep's, Cassou, Clara, Juju, Gigi, Clem, Alfred, Annaëlle, pour avoir embelli ces cinq merveilleuses années portugaises, vous avez contribué à créer les plus beaux souvenirs de ma vie.

À ma binôme de clinique, Manon, merci pour ta patience, ton soutien et ta personnalité apaisante.

À ma plus belle rencontre, Julia, ma colloc, ma binôme des premiers jours, tu sais tout. Tout cela aurait été totalement différent sans toi. Je t'aime fort.

Et enfin, à Simon, mon amour, ma moitié, mon plus grand soutien. J'ai hâte de commencer ma vie avec toi. Je t'aime fort fort lointain (et bientôt tout près).



## RESUMO

A periodontite é uma doença inflamatória caracterizada por uma quebra polimicrobiana da homeostasia do hospedeiro e por uma destruição progressiva das estruturas de suporte dos dentes. Se não for tratada, conduz à perda óssea e à mobilidade dentária, sublinhando a necessidade de um tratamento eficaz para esta patologia.

Os tratamentos convencionais, como a destarização e o alisamento radicular, demonstraram a sua eficácia, contudo, alternativas como o laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) e a terapia fotodinâmica antimicrobiana oferecem benefícios adicionais.

Introduzido na medicina dentária nos anos 1960, o laser distingue-se pela sua precisão, pela capacidade de reduzir a carga bacteriana, a dor, a inflamação e acelerar a cicatrização.

A terapia fotodinâmica antimicrobiana, por sua vez, utiliza uma luz com um comprimento de onda específico combinada com fotossensibilizantes para eliminar seletivamente as bactérias presentes nas bolsas periodontais e diminuir a inflamação.

Esta revisão narrativa tem como objetivo avaliar a eficácia destas duas técnicas em comparação com os tratamentos periodontais convencionais. Começa por explorar os princípios físicos do laser e os seus efeitos sobre os tecidos periodontais, centrando-se nos três principais tipos utilizados: o laser de dióxido, o laser Er:YAG e o laser Nd:YAG. A eficácia da terapia fotodinâmica antimicrobiana é igualmente analisada, a fim de destacar o seu papel potencial no tratamento da periodontite.

Estas duas abordagens terapêuticas inovadoras revelam-se promissoras, apresentando efeitos benéficos significativos e sublinhando a importância de prosseguir a investigação nesta área. No entanto, alguns resultados contraditórios indicam a necessidade de melhorar e de normalizar os protocolos, a fim de validar plenamente estas técnicas em todos os contextos clínicos.

**Palavras-chave:** Laser; Periodontite; Terapia fotodinâmica; Doenças periodontais.



## **ABSTRACT**

Periodontitis is an inflammatory disease characterized by a polymicrobial disruption of the host's homeostasis and progressive destruction of the tooth's supporting structures. If left untreated, it leads to bone loss and tooth mobility, highlighting the need for effective treatment for this pathology.

Conventional treatments, such as scaling and root planing, have proven their effectiveness, but alternatives like laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) and antimicrobial photodynamic therapy offer additional benefits.

Introduced in dentistry in the 1960s, laser stands out for its precision, its ability to reduce bacterial load, pain, and inflammation, and to accelerate healing. The antimicrobial photodynamic therapy, in turn, uses light with a specific wavelength combined with photosensitizers to selectively eliminate bacteria present in periodontal pockets and reduce inflammation.

Antimicrobial photodynamic therapy, for its part, uses light with a specific wavelength combined with photosensitizers to selectively eliminate bacteria present in periodontal pockets and reduce inflammation.

This narrative review aims to evaluate the effectiveness of these two techniques compared to conventional periodontal treatments. It begins by exploring the physical principles of the laser and its effects on periodontal tissues, focusing on the three main types used: diode laser, Er:YAG laser, and Nd:YAG laser. The effectiveness of antimicrobial photodynamic therapy is also analyzed in order to highlight its potential role in the management of periodontitis.

These two innovative therapeutic approaches prove to be promising, showing significant beneficial effects and emphasizing the importance of continuing research in this field. However, some contradictory results indicate the need to improve and standardize protocols in order to fully validate these techniques in all clinical contexts.

**Keywords:** Laser; Periodontitis; Photodynamic therapy; Periodontal diseases.



## RÉSUMÉ

La parodontite est une maladie inflammatoire caractérisée par une rupture polymicrobienne de l'homéostasie de l'hôte et par une destruction progressive des structures de soutien des dents. Si elle n'est pas traitée, elle conduira à une perte osseuse et à la mobilité dentaire, soulignant la nécessité d'un traitement efficace pour cette pathologie.

Les traitements conventionnels, tels que le détartrage et le surfaçage radiculaire, ont démontré leur efficacité, mais des alternatives comme le laser (Amplification de la Lumière par Émission Stimulée de Rayonnement) et la thérapie photodynamique antimicrobienne offrent des avantages supplémentaires.

Introduit en médecine dentaire dans les années 1960, le laser se distingue par sa précision, sa capacité à réduire la charge bactérienne, la douleur, l'inflammation et accélérer la cicatrisation.

La thérapie photodynamique antimicrobienne, quant à elle, utilise une lumière avec une longueur d'onde spécifique combinée à des photosensibilisateurs pour éliminer sélectivement les bactéries présentes dans les poches parodontales et diminuer l'inflammation.

Cette revue narrative a pour objectif d'évaluer l'efficacité de ces deux techniques par rapport aux traitements parodontaux conventionnels. Elle commence par explorer les principes physiques du laser et ses effets sur les tissus parodontaux, en se concentrant sur les trois principaux types utilisés: le laser diode, le laser Er:YAG et le laser Nd:YAG. L'efficacité de la thérapie photodynamique antimicrobienne est également analysée afin de mettre en lumière son rôle potentiel dans la prise en charge de la parodontite.

Ces deux approches thérapeutiques innovantes s'avèrent prometteuses, montrant des effets bénéfiques significatifs et soulignant l'importance de poursuivre les recherches dans ce domaine. Toutefois, certains résultats contradictoires indiquent la nécessité d'améliorer et de standardiser les protocoles, afin de valider pleinement ces techniques dans l'ensemble des contextes cliniques.

**Mots-clés:** Laser; Parodontite; Thérapie photodynamique; Maladies parodontales.



## Índice Geral

I. INTRODUÇÃO .....	17
II. DESENVOLVIMENTO .....	19
1. O periodonto .....	19
1.1. Histologia do periodonto .....	19
1.1.1. A gengiva.....	19
1.1.2. O ligamento periodontal .....	20
1.1.3. O cimento.....	20
1.1.4. O osso alveolar .....	21
1.2. Etiopatogenia da doença periodontal .....	21
1.3. Classificação da doença periodontal .....	23
1.3.1. Estádio da periodontite .....	24
1.3.2. Grau da periodontite .....	26
1.4. Tratamentos e cuidados convencionais da periodontite.....	27
1.4.1. Sequência de tratamento para a periodontite dos estádios I a III .....	27
1.4.2. Sequência de tratamento para a periodontite em estágio IV .....	29
1.4.3. Limitações do tratamento .....	30
2. O laser .....	31
2.1. Definições.....	31
2.1.1. Luz.....	31
2.1.1.1. Natureza corpuscular e ondulatória .....	31
2.1.1.2. Espectro eletromagnético e luz visível .....	32
2.1.2. Luz laser .....	33
2.2. Princípios básicos da física quântica.....	33
2.2.1. Absorção .....	34
2.2.2. Emissão.....	35
2.2.2.1. Emissão espontânea .....	35
2.2.2.2. Emissão estimulada.....	36
2.3. Princípios físicos .....	37
2.3.1. Meio ativo.....	38
2.3.2. Sistema de bombeamento .....	38
2.3.3. Cavidade de ressonância.....	38
2.3.4. O comprimento de onda .....	38
2.3.5. A potência.....	39
2.3.6. A fluência e a irradiância.....	39

2.3.7. Modos de emissão do laser.....	39
2.4. Efeitos do laser.....	39
2.4.1. Efeito fototérmico.....	40
2.4.2. Efeito fotomecânico ou fotodisrupção.....	40
2.4.3. Efeito fotoelétrico.....	40
2.4.4. Efeito fotoquímico.....	40
2.5. Os diferentes tipos de laser.....	41
2.5.1. O laser de diodo.....	42
2.5.1.1. Propriedades físicas.....	42
2.5.1.2. Vantagens na terapia periodontal.....	43
2.5.1.3. Precauções e limitações na terapia periodontal.....	45
2.5.2. O laser Er:YAG.....	46
2.5.2.1. Propriedades físicas.....	46
2.5.2.2. Vantagens na terapia periodontal.....	46
2.5.2.3. Precauções e limitações na terapia periodontal.....	49
2.5.3. O laser Nd:YAG.....	49
2.5.3.1. Propriedades físicas.....	49
2.5.3.2. Vantagens na terapia periodontal.....	50
2.5.3.3. Precauções e limitações na terapia periodontal.....	52
2.5.4. Síntese dos dados clínicos sobre os principais lasers utilizados em periodontologia.....	53
3. A terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT).....	57
3.1. Princípios fundamentais.....	57
3.1.1. Critérios de escolha de um fotossensibilizante.....	58
3.1.2. Principais tipos de fotossensibilizantes.....	59
3.1.3. Fontes de luz.....	60
3.1.3.1. Laser.....	61
3.1.3.2. LED.....	62
3.2. Aplicações clínicas.....	62
3.2.1. Indicações terapêuticas.....	62
3.2.2. Propriedades biológicas.....	63
3.2.2.1. Efeito antibacteriano.....	63
3.2.2.2. Ação anti-inflamatória.....	65
3.2.2.3. Cicatrização dos tecidos.....	65
3.3. Vantagens e desvantagens na periodontite.....	66

III. CONCLUSÃO.....	69
IV. BIBLIOGRAFIA.....	71



## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> As estruturas periodontais.....	19
<b>Figura 2:</b> Esquema do espectro electromagnético.....	32
<b>Figura 3:</b> Esquema de um átomo.....	34
<b>Figura 4:</b> Absorção de um fóton por um elétron que muda de órbita.....	35
<b>Figura 5:</b> Emissão espontânea de um fóton quando o elétron retorna à sua órbita fundamental .....	36
<b>Figura 6:</b> Emissão estimulada de um fóton .....	37
<b>Figura 7:</b> Princípio de funcionamento do laser .....	37
<b>Figura 8:</b> Princípio de funcionamento da terapia fotodinâmica .....	58



## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Classificação da periodontite em função dos estádios segundo classificação do Workshop Mundial para a classificação das Doenças e Condições Periodontais e Peri-implantares, Chicago, 2017.....	26
<b>Tabela 2:</b> Classificação da periodontite em função dos graus segundo classificação do Workshop Mundial para a classificação das Doenças e Condições Periodontais e Peri-implantares, Chicago, 2017.....	26
<b>Tabela 3:</b> Tabela resumo dos mecanismos de ação, efeitos clínicos observados, limitações e perspectivas de investigação do laser de diodo.....	54
<b>Tabela 4:</b> Tabela resumo dos mecanismos de ação, efeitos clínicos observados, limitações e perspectivas de investigação do laser Er:YAG .....	55
<b>Tabela 5:</b> Tabela resumo dos mecanismos de ação, efeitos clínicos observados, limitações e perspectivas de investigação do laser Nd:YAG .....	56



## **Lista de siglas**

AAP: American Academy of Periodontology

*Aa: Aggregatibacter actinomycetemcomitans*

APDT: Terapia fotodinâmica antimicrobiana

AM: Azul de metileno

ATO: Azul de toiluidina

ERO: Espécies reativas de oxigênio

Er:YAG: Erbium-doped yttrium aluminium garnet

FDA: Food and Drug Administration

FEP: Federação Europeia de Periodontologia

FS: Fotossensibilizante

HS: Hemorragia à sondagem

IG: Índice gengival

IL-10: Interleucina 10

IP: Índice de placa

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

LED: Diodo emissor de luz

LPS: Lipopolissacáridos

MO: Microrganismo

Nd:YAG: Neodymium-doped yttrium aluminium garnet

PIC: Perda de inserção clínica

*Pg: Porphyromonas gingivalis*

PS: Profundidade de sondagem

*Tf: Tannerella forsythia*



## **I. INTRODUÇÃO**

A Organização Mundial da Saúde define a saúde oral como a ausência de dor oral ou facial, de cancro oral ou faríngeo, de infeções ou lesões orais, de doenças periodontais, de mobilidade dentária e perda de dentes, bem como de outras patologias ou perturbações (World Health Organization, 2019).

A saúde oral, e, por conseguinte a saúde periodontal, constituem um domínio prioritário da saúde pública. Não se resume apenas a um sorriso bonito e é, com frequência, indicativa de afeções sistémicas (FDI World Dental Federation, 2015). A gengivite é a doença periodontal mais prevalente em todas as populações (FDI World Dental Federation, 2018). A periodontite, uma doença inflamatória caracterizada por uma quebra polimicrobiana da homeostasia do hospedeiro e por uma destruição progressiva das estruturas de suporte dos dentes, representa também um problema de saúde pública de grande relevância, com importantes repercussões socioeconómicas (Machado et al., 2018). De facto, é a sexta condição de saúde mais prevalente a nível mundial e afeta cerca de 50% da população adulta nos Estados Unidos (FDI World Dental Federation, 2018). Em estádios de maior severidade, afeta aproximadamente 11% da população mundial (Botelho et al., 2021). Os grupos socioeconómicos mais desfavorecidos são os mais frequentemente afetados, tal como os indivíduos mais idosos (FDI World Dental Federation, 2018).

As doenças periodontais são facilmente evitáveis. É, portanto, fundamental que o médico dentista valorize a prevenção primária (antes do surgimento da doença) e a prevenção secundária (nas fases iniciais), com o objetivo de reduzir a incidência e a prevalência desta patologia (FDI World Dental Federation, 2018; Tonetti et al., 2018).

Tratamentos convencionais, como a destartarização e o alisamento radicular (AR), são habitualmente utilizados no tratamento da periodontite, mas surgem atualmente novas alternativas às abordagens iniciais. A evolução da patogenicidade bacteriana tem conduzido os investigadores à procura de terapias antimicrobianas mais eficazes, capazes de eliminar os microrganismos (MO) com sucesso, sem efeitos adversos para o organismo humano.

O laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), utilizado pela primeira vez no século XX, em 1960, por Theodore Maiman nos laboratórios Hughes Research, veio permitir novas abordagens em diversos domínios, tais como a cosmética, a eletrónica, a indústria, a investigação científica, entre muitas outras áreas. Diversos estudos têm evidenciado os benefícios da utilização do laser em medicina dentária, nomeadamente em periodontologia (Zubairy, 2016).

Já a terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT) surgiu de forma acidental no início do século XX, quando Oskar Raab e Hermann von Tappeiner observaram que os protozoários *Paramecium spp.* corados com laranja de acridina morriam sob o efeito de uma luz intensa. O termo foi proposto pela primeira vez por John Toth, em 1981, após observar o efeito químico fotodinâmico. A aPDT baseia-se na utilização de um corante fotossensível não tóxico, chamado o «fotossensibilizante» (FS), combinado com luz visível de baixa energia, cujo comprimento de onda é adequado ao espectro de absorção do corante. Este, ao ser ativado, gera radicais livres de oxigénio que atuam como agentes tóxicos contra as bactérias (Chambrone et al., 2018).

Assim, o presente trabalho tem, como objetivo avaliar e comparar a eficácia destas duas técnicas relativamente aos tratamentos convencionais, medindo o seu impacto na redução da inflamação e da carga bacteriana. Tendo em conta as limitações associadas aos métodos tradicionais, torna-se essencial analisar criticamente as alternativas terapêuticas emergentes.

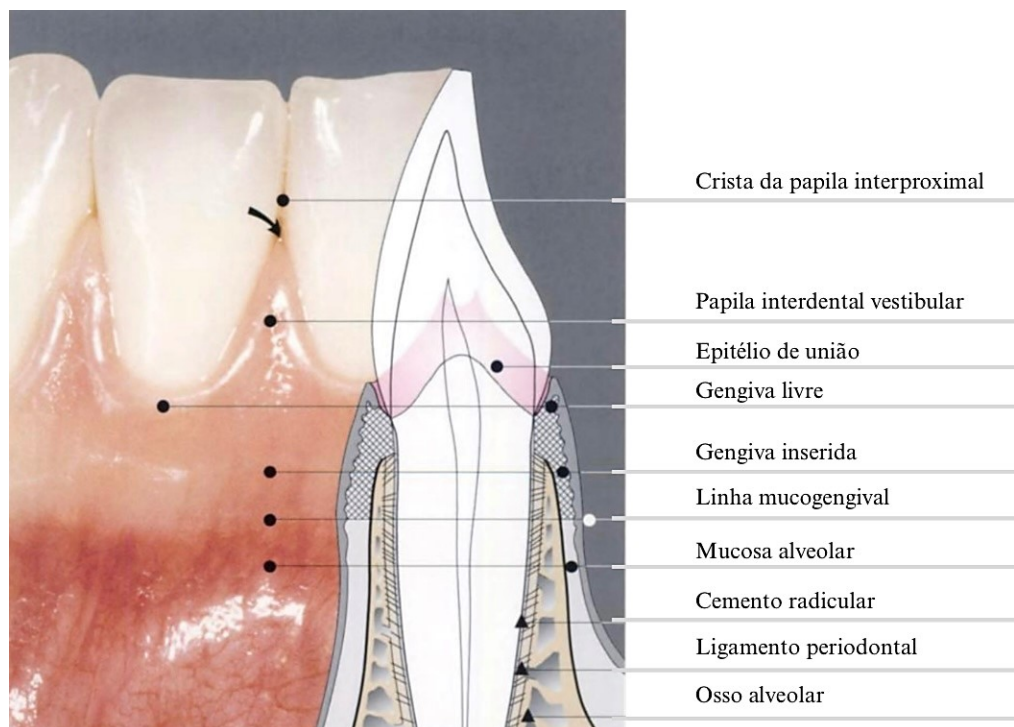
Este trabalho visa, fazer uma síntese atual da literatura científica disponível, de forma a compreender melhor os benefícios reais do laser e da terapia fotodinâmica antimicrobiana no contexto da periodontite. Os resultados poderão contribuir para a otimização dos protocolos terapêuticos em periodontologia e para uma abordagem mais eficaz de pacientes com periodontite.

Foram consultadas bases de dados científicas como PubMed, Medline, Scopus, Web of Science e ScieLO, sendo selecionados artigos entre 2000 e 2025 com os seguintes termos: laser; periodontite; terapia fotodinâmica; doenças periodontais; laser de diodo; laser Er:YAG; e laser Nd:YAG nas línguas inglesa, portuguesa e francesa.

## II. DESENVOLVIMENTO

### 1. O periodonto

O periodonto (Figura 1, Anexo A) constitui o conjunto dos tecidos de ancoragem e de suporte do dente. Este termo provém do grego «para», que significa «ao lado de», e de «odonto», que quer dizer «dente». É composto por dois tecidos moles: a gengiva e o ligamento periodontal, bem como por dois tecidos mineralizados: o cemento e o osso alveolar (Bouchard et al., 2015).



**Figura 1:** As estruturas periodontais

Adaptado do livro «Parodontologie» (Wolf et al., 2005) (Anexo A)

### 1.1. Histologia do periodonto

#### 1.1.1. A gengiva

A gengiva é um tecido de revestimento muito resistente com uma componente epitelial e uma componente conjuntiva. Apresenta diferentes partes (Bouchard et al., 2015):

- Gengiva livre:

A gengiva livre é a parte cervical da gengiva e reveste a junção amelo-cementária. Estende-se até ao sulco gengival. É denominada gengiva «livre» devido à ausência de ligação física com o dente. Pode medir entre 0,5 mm e 3 mm.

- Gengiva interdentária:

A gengiva interdentária, ou também papila interdentária, é uma parte da gengiva livre. É determinada pelas zonas de contacto entre dois dentes adjacentes.

- Gengiva inserida ou aderida:

A gengiva inserida ou aderida é a continuação da gengiva livre. Situa-se numa posição apical em relação à gengiva livre. Pode medir entre 1 mm e 9 mm. Estende-se desde o sulco gengival até à linha mucogengival. Está unida ao cimento radicular por fibras do tecido conjuntivo e ao osso alveolar através do perióstio.

- Sulco gengival:

O sulco gengival é o espaço situado entre o esmalte e a parte interna do epitélio gengival. Durante a sondagem, a profundidade do sulco não deve ultrapassar os 3 mm. Se este valor for superior a 3 mm, então o paciente apresenta uma bolsa periodontal (Bercy, 1996).

### **1.1.2. O ligamento periodontal**

O ligamento periodontal é uma estrutura viscoelástica composta por feixes de fibras que unem o cimento ao osso alveolar. É um tecido conjuntivo laxo, ricamente vascularizado, que envolve a raiz dos dentes. Tem uma espessura de aproximadamente 0,25 mm. Garante a mobilidade fisiológica dos dentes e permite a absorção e a distribuição das forças (Bouchard et al., 2015).

### **1.1.3. O cimento**

O cimento é um tecido mineralizado que se localiza na parte radicular dos dentes. Apresenta semelhanças com o tecido ósseo. Contribui para as reparações dos danos na superfície radicular dos dentes, pois as fibras do ligamento periodontal inserem-se sobre

este. Existem dois tipos de cimento: o cimento primário ou acelular e o cimento secundário ou celular (Bouchard et al., 2015):

- Cimento acelular

O cimento acelular ou primário encontra-se no terço médio e no terço coronal da raiz.

- Cimento celular

O cimento celular ou secundário encontra-se no terço apical da raiz.

#### **1.1.4. O osso alveolar**

O osso alveolar é uma especialização do osso maxilar e do osso mandibular. O dente está ancorado numa cavidade óssea chamada alvéolo dentário e mantido pelo ligamento alveolodentário. A sua principal função é a fixação e retenção dos dentes, a inervação e a vascularização, e também desempenha um papel de amortecimento das forças oclusais (Bercy, 1996).

### **1.2. Etiopatogenia da doença periodontal**

Para compreender o mecanismo de desenvolvimento da periodontite, é necessário analisar a etiopatogenia da doença periodontal.

A gengivite, primeiro estágio da doença periodontal, está associada a um aumento da massa bacteriana causado por uma acumulação de biofilme. Para que a gengivite evolua para uma periodontite, a concentração de microrganismos (MO) periodontopatogénicos deve ser suficiente. Estes MO devem possuir uma capacidade infecciosa determinada pela produção de fatores de virulência. *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (*Aa*) é o principal patógeno identificado na periodontite agressiva (Houle & Grenier, 2003). Contudo, não atua sozinho, mas em conjunto com várias outras espécies bacterianas. Os sintomas da doença surgem quando os mecanismos de defesa do hospedeiro não conseguem manter a homeostasia. Os MO colonizam então as diferentes superfícies sob a forma de um biofilme. Este biofilme é constituído por populações microbianas que aderem entre si ou a superfícies e estão imersas numa matriz extracelular. Fatores de virulência permitem que os agentes patogénicos colonizem um local e, assim, causam danos teciduais. As bactérias periodontopatogénicas possuem diferentes componentes ou estruturas de superfície que facilitam as suas retenções nos

locais subgengivais. As bactérias aderem a certas estruturas, como as células epiteliais, tecido conjuntivo ou a outras espécies bacterianas. Elas podem contrariar a resposta imunológica do hospedeiro, inibindo a resposta inflamatória aguda, resistindo ao ataque dos neutrófilos e produzindo enzimas proteolíticas que lhes permitem destruir diversas moléculas envolvidas nas defesas do organismo. A presença de bactérias periodontopatogénicas, no entanto, não é suficiente para o aparecimento de periodontite. De facto, a resposta imunológica do hospedeiro desempenha também um papel fundamental na progressão da doença. Os lipopolissacarídeos (LPS) componentes da membrana externa das bactérias Gram-negativas, são potentes antigénios, essenciais para a estimulação de citocinas, mediadores da inflamação. As citocinas, especialmente a IL- $\beta$ , favorecem o processo inflamatório e a destruição óssea (Houle & Grenier, 2003).

A periodontite manifesta-se, portanto, quando ocorre uma situação de disbiose (alteração da flora microbiana considerada normal, provocando uma rutura nas relações benéficas com o hospedeiro, em detrimento da sua saúde).

Alguns indivíduos apresentam predisposições para desenvolver periodontite. Diversos fatores podem influenciar a composição da microflora e a predisposição para desenvolvimento de doença. No caso da doença periodontal, existem três tipos de fatores de risco:

- Fatores de risco modificáveis, tais como o estilo de vida, como o tabagismo ou os hábitos alimentares. Com efeito, o tabagismo é o fator de risco modificável mais relevante, existindo uma relação dose-efeito bem documentada (Jepsen, 2020). O tabaco é atualmente considerado um fator de risco major da periodontite, aumentando assim a sua prevalência e severidade. Conduz igualmente a uma diminuição do sucesso dos tratamentos. A prevenção revela-se, portanto, essencial para além das medidas terapêuticas (Underner et al., 2009). Os hábitos alimentares constituem igualmente um fator modificável (Jepsen, 2020). De facto, a ingestão excessiva de hidratos de carbono parece favorecer uma disbiose, conduzindo a doenças inflamatórias crónicas como a periodontite. Uma redução deste consumo poderá diminuir essa inflamação gengival (Woelber et al., 2016).
- Fatores de risco não-modificáveis, como os fatores genéticos. A componente genética no risco da periodontite é estimada em 50%. Este fator genético parece

ser particularmente relevante em pacientes jovens com periodontite avançada (Jepsen, 2020). Para além da predisposição genética, outro fator intrínseco a considerar é a idade. Esta desempenha igualmente um papel importante no aparecimento das doenças periodontais. De facto, existem alterações na imunidade nas pessoas idosas. As respostas imunitárias inata e adaptativa tornam-se menos funcionais, o metabolismo celular e a cicatrização são mais lentos, o que leva a um risco acrescido de desenvolvimento de doença periodontal. O aumento da esperança de vida da população representa, assim, um desafio para os profissionais de saúde no que diz respeito aos cuidados periodontais (Wulandari, 2023). Diversos estudos evidenciam igualmente diferenças na prevalência da periodontite em função do sexo. Com efeito, os homens parecem apresentar uma maior predisposição para o desenvolvimento desta patologia (37% nos homens versus 28% nas mulheres). Contudo, apesar de o risco ser aparentemente mais elevado, a progressão da doença periodontal não é necessariamente mais rápida (Shiau & Reynolds, 2010). Verifica-se também um aumento da prevalência em mulheres grávidas, associado às alterações hormonais próprias da gestação. Nestes casos, as mulheres podem desenvolver formas mais agressivas de periodontite (Firdausi et al., 2023).

- Fatores adquiridos, como a Diabetes *mellitus*. Desde 1993, a doença periodontal é considerada uma complicação do diabetes. A duração da hiperglicemia, assim como a sua gravidade, são os principais fatores de risco das complicações associadas a diabetes (Reddy & Gopalkrishna, 2022).

Uma melhor compreensão da etiopatogenia da doença periodontal permitiria uma avaliação mais precisa dos riscos, caso a caso, possibilitando assim a elaboração de planos de tratamento personalizados e uma prevenção mais eficaz da doença.

### **1.3. Classificação da doença periodontal**

Os sistemas de classificação das doenças periodontais evoluíram significativamente ao longo dos anos. A antiga classificação estabelecida em 1999 pela American Academy of Periodontology (AAP) e pela Federação Europeia de Periodontologia (FEP) organizava as doenças periodontais em cinco categorias: periodontite crónica, periodontite agressiva, periodontite como manifestação de doenças sistémicas, doença

periodontal necrosante e abscesso periodontal. Desde então, foi realizada uma atualização desta classificação durante o Workshop mundial que teve lugar em Chicago, em novembro de 2017. Foi adotada uma abordagem multidisciplinar, que passou a classificar a periodontite em três categorias (Caton et al., 2018):

- Doenças periodontais necrosantes (gengivites necrosantes, periodontites necrosantes, estomatite necrosante)
- Periodontites como manifestações de doenças sistêmicas
- Periodontite

### **1.3.1. Estádio da periodontite**

Num primeiro momento, deve ser determinado o estágio da periodontite. Este pode ser definido segundo quatro estádios, que vão do Estádio I ao Estádio IV, baseando-se na severidade de doença, com critérios como a perda de inserção interdentária, a perda óssea avaliada radiograficamente e a perda dentária, bem como na complexidade da gestão da doença, analisando, por exemplo, a profundidade de sondagem (PS) ou a presença de perda óssea horizontal ou vertical. A extensão da periodontite também auxilia na sua classificação. Com efeito, quando a periodontite afeta menos de 30% dos dentes, é considerada localizada; por outro lado, se afetar mais de 30% dos dentes, é então considerada uma periodontite generalizada. Nota-se também um padrão molar-incisivo, caracterizado por uma perda de inserção interdentária predominante nessas zonas (Tonetti et al., 2018).

Estádio da periodontite		Estádio I	Estádio II	Estádio III	Estádio IV
Severidade	Perda de inserção clínica (PIC)	1-2 mm	3-4 mm	≥ 5 mm	≥ 5 mm
	Perda óssea radiográfica	1/3 coronal (< 15 %)	1/3 coronal (< 15 à 33 %)	Meio ou 1/3 apical da raiz	Meio ou 1/3 apical da raiz
	Perda de dentes (por causa da periodontite)	/	/	≤ 4 dentes	≤ 5 dentes
Complexidade	Local	Bolsa periodontal ≤ 4 mm Perda óssea horizontal	Bolsa periodontal ≤ 5 mm Perda óssea horizontal	Além das características do estágio II: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bolsa periodontal ≥ 6 mm</li> <li>▪ Perda óssea vertical</li> <li>▪ Lesão de furca de classe II ou III</li> <li>▪ Defeitos moderados na crista óssea</li> </ul>	Além das características do estágio III: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disfunção mastigatória</li> <li>▪ Traumatismo oclusal secundário (mobilidade de grau ≥ 2)</li> <li>▪ Defeitos severos na crista óssea</li> <li>▪ &lt; 20 dentes remanescentes</li> </ul>
Extensão e distribuição	Para cada estágio : - Localizada (< 30 % dos dentes) - Generalizada (≥ 30 % dos dentes) - Padrão molar-incisivos				

**Tabela 1:** Classificação da periodontite em função dos estádios segundo classificação do Workshop Mundial para a classificação das Doenças e Condições Periodontais e Peri-implantares, Chicago, 2017.

(Papapanou et al., 2018a)

### 1.3.2. Grau da periodontite

A periodontite é também definida de acordo com três graus, que vão do Grau A ao Grau C, com base em critérios de evidência direta ou indireta da progressão, bem como em fatores de risco como o tabagismo ou a Diabetes (Tonetti et al., 2018).

	<b>Progressão</b>		<b>Grau A Lento</b>	<b>Grau B Moderado</b>	<b>Grau C Rápido</b>
<b>Primeiro critério</b>	Evidência direta de progressão		Ausência de perda óssea nos últimos anos	< 2 mm nos 5 últimos anos	> 2 mm nos 5 últimos anos
	Evidência indireta de progressão	% perda óssea / idade	< 0,25	0,25 a 1	> 1
		Fenótipo	Depósitos de biofilme com baixos níveis de destruição	Destruição proporcional aos depósitos de biofilme	A destruição excede as expectativas face aos depósitos de biofilme
<b>Modificadores de grau / fatores de risco</b>	Fumador		Não fumador	< 10 cigarros/dia	≥ 10 cigarros/dia
	Diabetes		Normoglicemia ou sem diagnóstico de diabetes	HbA1c < 7% em doentes diabéticos	HbA1c ≥ 7% em doentes diabéticos

**Tabela 2:** Classificação da periodontite em função dos graus segundo classificação do Workshop Mundial para a classificação das Doenças e Condições Periodontais e Peri-implantares, Chicago, 2017.

(Papapanou et al., 2018a)

Para alcançar bons resultados clínicos, é fundamental que o médico dentista determine corretamente o estágio e o grau da periodontite do seu paciente, de modo a implementar um tratamento personalizado e adequado.

#### **1.4. Tratamentos e cuidados convencionais da periodontite**

Antes de abordar as diferentes fases do tratamento da periodontite, é importante destacar o papel da placa bacteriana como principal fator etiológico. É composta por bactérias aeróbias Gram positivas em locais saudáveis e por bactérias anaeróbias Gram negativas em locais patológicos. Estas bactérias aderem inicialmente de forma reversível, por meio de forças de Van der Waals e interações hidrofóbicas. Posteriormente, estas aderem de forma mais forte, estabilizando-se (Wei et al., 2024). Em pacientes com menos de 20 anos, a periodontite está geralmente associada à bactéria *A.a.* Em idades superiores, está mais frequentemente associada a dois tipos de bactérias: *Porphyromonas gingivalis* (*Pg*) e *Tannerella forsythia* (*Tf*). A *Pg* é altamente patogénica e possui potentes fatores de virulência (Shahoumi et al., 2023).

##### **1.4.1. Sequência de tratamento para a periodontite dos estádios I a III**

Como mencionado anteriormente, a periodontite pode ser classificada em quatro estádios. O tratamento varia consoante o estágio da doença (Sanz et al., 2020a).

Uma vez estabelecido o diagnóstico da periodontite, os pacientes devem ser tratados segundo uma abordagem progressiva, adaptada ao estágio e ao grau da doença.

Estão definidos quatro passos para abordar a periodontite:

- Primeiro passo:

O paciente deve, antes de mais, ser informado sobre o diagnóstico. O profissional de saúde oral deve explicar-lhe o que é a periodontite, esclarecendo a etiologia da doença, os fatores de risco, as diferentes opções terapêuticas, bem como os benefícios e as limitações de cada tratamento. O médico dentista deve, de seguida, elaborar um plano de tratamento personalizado e adaptado ao paciente. Esta primeira etapa assenta no acompanhamento do paciente na modificação dos seus hábitos de higiene oral e estilo de vida. É essencial ensiná-lo a eliminar corretamente o biofilme supragengival, a técnica de escovagem adequada, sublinhando-se também a importância da utilização do fio dentário

e dos escovilhões como complemento à escova de dentes. Podem ainda ser recomendados agentes antissépticos, como os colutórios, para reduzir a inflamação gengival. A motivação para uma boa higiene oral é um fator determinante no sucesso do tratamento. O médico dentista deve também proceder à eliminação mecânica da placa supragengival e do tártaro, eliminando simultaneamente os fatores que favorecem a retenção da placa e que podem comprometer uma higiene eficaz. Estas consultas com o médico dentista constituem um pilar fundamental da prevenção primária e secundária. O profissional deve prestar particular atenção ao controlo dos fatores de risco da periodontite, como o tabagismo, a diabetes ou o excesso de peso. Esta primeira fase deve ser regularmente reavaliada a fim de garantir a manutenção da saúde periodontal (Carra et al., 2020; Van der Weijden & Slot, 2015).

- Segundo passo:

A segunda etapa do tratamento da periodontite corresponde à terapia causal. O seu objetivo é controlar a doença, reduzindo e eliminando o biofilme subgengival, bem como o tártaro, através do AR. Este procedimento permite diminuir a inflamação dos tecidos moles e eliminar os depósitos duros e moles presentes na superfície das raízes dentárias. Os principais critérios de avaliação desta etapa são a PS das bolsas periodontais e a ausência de hemorragia à sondagem (HS) (Suvan et al., 2020). Esta fase do tratamento periodontal exige um acompanhamento regular, após a cicatrização dos tecidos periodontais. É denominada reavaliação periodontal. Consiste em verificar a eventual presença de bolsas periodontais com profundidade igual ou superior a 4 mm associadas a HS, ou de bolsas com profundidade igual ou superior a 6 mm. Caso estes critérios sejam observados, deve-se então passar à terceira etapa do tratamento periodontal. Se o tratamento tiver sido bem-sucedido na obtenção dos objetivos terapêuticos, os pacientes devem ser integrados num programa de manutenção periodontal (quarto passo) (Sanz et al., 2020a).

- Terceiro passo:

O terceiro passo da terapia periodontal tem como objetivo tratar as localizações que não responderam adequadamente ao tratamento periodontal realizado na segunda fase. O médico dentista pode proceder a uma nova instrumentação subgengival, com ou sem tratamento complementar. Também pode considerar abordagens cirúrgicas, como a cirurgia periodontal com retalho de acesso, a cirurgia ressectiva ou a cirurgia

regenerativa. Após esta terceira fase, a implementação de cuidados periodontais de suporte (quarto passo) é absolutamente indispensável. Estes têm como objetivo manter a estabilidade periodontal em pacientes tratados, combinando intervenções preventivas e terapêuticas (Sanz-Sanchez et al., 2020). Segundo as recomendações do Workshop Europeu sobre prevenção de 2014, os controlos devem ser realizados entre 2 a 4 vezes por ano, de forma a monitorizar a estabilidade ou a progressão da periodontite, consoante os fatores de risco modificáveis e não-modificáveis do doente.

#### **1.4.2. Sequência de tratamento para a periodontite em estágio IV**

O estágio IV representa o grau mais avançado da periodontite. Algumas manifestações clínicas são características deste estágio, tais como disfunção mastigatória, traumatismo oclusal secundário, perda significativa de inserção periodontal, ou ainda a presença de defeitos severos ao nível da crista óssea. Estas complicações, tanto funcionais como estéticas, resultam da destruição dos tecidos periodontais ou da perda dentária induzida pela progressão da doença, tendo um impacto significativo na qualidade de vida dos doentes e comprometendo a estabilidade dos dentes remanescentes. Torna-se, por isso, necessário a implementação de um tratamento adequado. A abordagem terapêutica sofre, então, uma mudança de perspetiva, integrando a periodontite em estágio IV numa categoria que exige uma gestão multidisciplinar, envolvendo nomeadamente a ortodontia, a medicina dentária restauradora e a reabilitação oral (Herrera et al., 2022).

Antes de qualquer intervenção, o médico dentista deve realizar uma avaliação clínica aprofundada, baseada em cinco dimensões essenciais:

- A avaliação da extensão da degradação periodontal, da função e da estética do paciente (Herrera et al., 2022),
- O número de dentes perdidos devido à periodontite (Sanz et al., 2020b),
- O prognóstico individual de cada dente (McGuire & Nunn, 1996),
- Os fatores restauradores (Herrera et al., 2022),
- O prognóstico global do caso clínico (Papapanou et al., 2018b).

Tal como nos estádios I a III, a etapa inicial do tratamento baseia-se numa informação clara e completa do paciente. Contudo, no estágio IV, as complicações já instaladas exigem que o tratamento periodontal clássico (conforme descrito nos estádios anteriores) seja complementado por uma fase de reabilitação funcional. Esta última visa,

nomeadamente, restaurar o conforto mastigatório, corrigir o traumatismo oclusal secundário, e, em alguns casos, restabelecer a dimensão vertical da oclusão. Este tratamento global e multidisciplinar insere-se nas diferentes etapas terapêuticas previamente abordadas, mas requer uma coordenação estreita entre as várias disciplinas envolvidas, de forma a garantir uma abordagem otimizada do paciente (Herrera et al., 2020).

### **1.4.3. Limitações do tratamento**

A destararização e o AR são considerados o tratamento causal no tratamento da maioria dos pacientes com periodontite (Ramalingam & Peeran, 2021). No entanto, existem certas limitações associadas a estas duas técnicas básicas de descontaminação periodontal:

- As superfícies dos molares podem ser de difícil acesso, tal como as superfícies mesiais dos primeiros molares superiores com sulcos radiculares profundos. As localizações de furcas dos dentes multirradiculares e as irregularidades anatómicas das raízes também podem representar obstáculos ao tratamento eficaz (Ramalingam & Peeran, 2021).
- Pode haver dificuldade na eliminação completa de certos patógenos periodontais, como o *Aa* (Ramalingam & Peeran, 2021).
- A profundidade das bolsas periodontais pode ser um fator limitante para a descontaminação completa das raízes (Vohra et al., 2020).
- Estudos demonstraram que os fumadores respondem de forma menos eficaz a tratamento periodontal quando comparados com os não-fumadores. A nicotina presente no tabaco reduz a proliferação de fibroblastos, glóbulos vermelhos e macrófagos, comprometendo, assim, o processo de cicatrização (Vohra et al., 2020).

Podem ainda ser observados efeitos adversos associados a estas duas intervenções terapêuticas (Ramalingam & Peeran, 2021):

- O AR, apesar de ser uma técnica não cirúrgica, pode não ser suficiente e exigir uma abordagem cirúrgica complementar para aceder a áreas de difícil acesso, tornando o tratamento mais invasivo.
- Esta técnica pode causar perda significativa de substância radicular.

- Pode também provocar recessões gengivais, especialmente em pacientes com fenótipo gengival fino, devido à perda de inserção.
- Por fim, o AR pode originar, em alguns pacientes, um aumento da sensibilidade dentária.

A compreensão da estrutura do periodonto, assim como do seu papel, é essencial para avaliar o estágio e o grau da periodontite e, assim, implementar tratamentos eficazes. No entanto, as limitações das abordagens convencionais justificam a procura de soluções terapêuticas alternativas, como a utilização do laser (Ramalingam & Peeran, 2021).

## **2. O laser**

### **2.1. Definições**

#### **2.1.1. Luz**

A luz é um fenómeno físico que se propaga em linha reta num meio homogéneo. Há muitos anos que as suas propriedades físicas e a sua natureza são objeto de debate científico. De facto, coexistem duas descrições opostas da luz (Fabre et al., 2015):

- a descrição corpuscular
- a descrição ondulatória

##### **2.1.1.1. Natureza corpuscular e ondulatória**

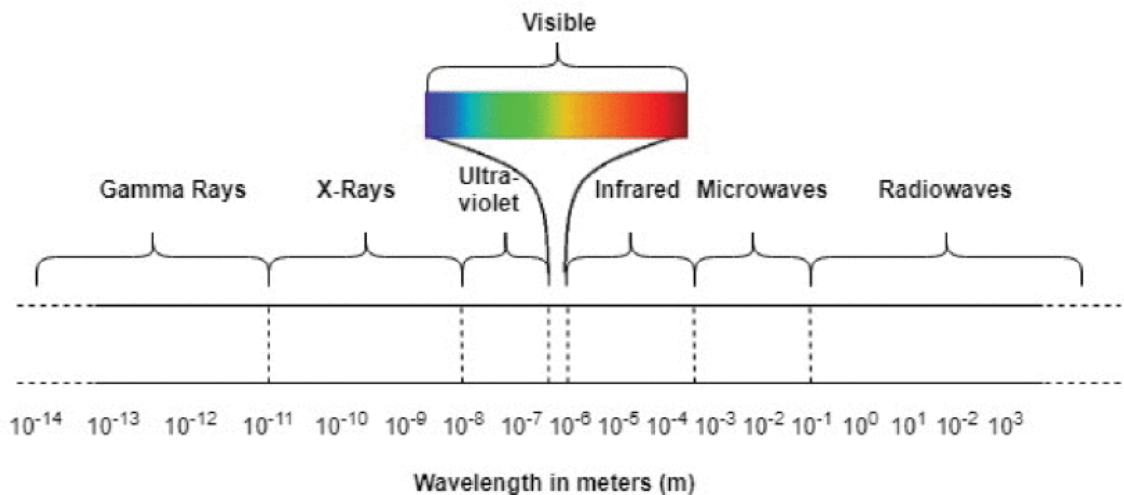
A descrição corpuscular considera a luz como sendo um conjunto de partículas (ou corpúsculos) que se deslocam em linha reta. Formulada por Isaac Newton, a luz propaga-se em meios homogéneos seguindo trajetórias retilíneas, regidas por um conjunto de leis geométricas. Esta propagação pode ser descrita através da seguinte relação:  $\delta = c / v$ , onde  $\delta$  representa o índice de refração,  $c$  representa a velocidade da luz no vácuo e  $v$  a velocidade da luz no meio considerado (Taillet, 2015).

A descrição ondulatória, por sua vez, baseia-se nos trabalhos realizados por René Descartes, que considerava a luz como uma vibração que se propaga num meio. No início do século XIX, várias teorias sobre a ótica ondulatória foram propostas. James Clerk

Maxwell formulou um conjunto de equações que demonstravam a existência de ondas eletromagnéticas cuja velocidade correspondia à da luz. As experiências de Heinrich Hertz, realizadas no final do século XIX, confirmaram experimentalmente a existência dessas ondas eletromagnéticas, apoiando assim a teoria de Maxwell. Mais tarde, com o desenvolvimento da mecânica quântica, foi estabelecido que a energia transportada pela luz poderia ser quantificada. Essa quantificação é expressa pela seguinte relação:  $E = h \times \nu$ , onde  $E$  é a energia de um fóton,  $h$  é a constante de Planck e  $\nu$  é a frequência da onda luminosa (Taillet, 2015).

### 2.1.1.2. Espectro eletromagnético e luz visível

O espectro eletromagnético representa o conjunto de radiações eletromagnéticas, desde os raios gama (da ordem de  $10^{-14}$  m) até às ondas de rádio (cerca de  $10^6$  m). A luz visível constitui uma porção deste espectro, situada entre aproximadamente 380 nm e 740 nm. As ondas eletromagnéticas propagam-se à velocidade da luz, mas são, na sua maioria, invisíveis ao olho humano, com exceção da luz visível (Toda Matéria, s.d.). Graças aos trabalhos de Maxwell, sabemos que a luz é uma onda eletromagnética, composta por um campo elétrico e um campo magnético oscilantes.



**Figura 2:** Esquema do espectro electromagnético

Adaptado do artigo de Yasin et al., 2020, sob licença CC BY 4.0

### 2.1.2. Luz laser

A luz laser é composta por feixes intensos gerados pela emissão estimulada de radiação a partir de uma fonte luminosa. Quando um feixe de luz atravessa um meio específico, estimula os átomos presentes nesse meio, transferindo assim a energia luminosa numa direção precisa, idêntica à do meio e com o mesmo comprimento de onda do feixe inicial. Este processo conduz à criação de um feixe laser. Um feixe laser é unidirecional e de elevada intensidade. Segundo a teoria de Einstein, a luz laser possui três propriedades fundamentais, que correspondem às três formas de coerência do feixe (Luke et al., 2019):

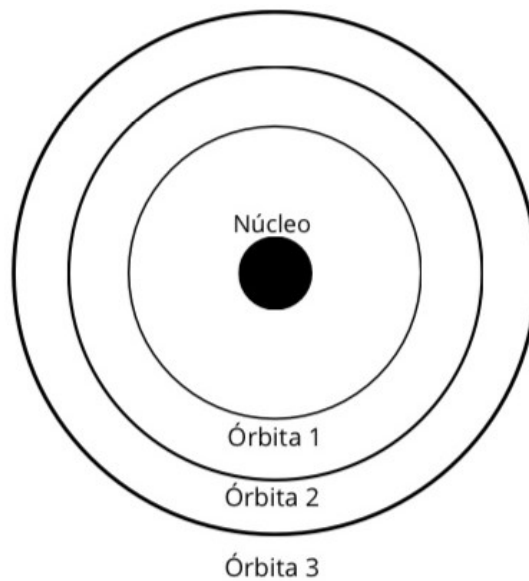
- **Coerência cromática:** o feixe é monocromático, ou seja, todas as ondas têm a mesma energia e o mesmo comprimento de onda.
- **Coerência espacial:** os fótons são emitidos numa única direção, assegurando a colimação do feixe.
- **Coerência temporal:** os fótons estão em fase, ou seja, sincronizados no tempo.

Estas características permitem que o feixe laser se concentre num ponto muito preciso, com uma energia elevada libertada num tempo muito curto, o que o torna particularmente eficaz na prática médica e cirúrgica (Luke et al., 2019).

## 2.2. Princípios básicos da física quântica

A física quântica engloba um conjunto de teorias das ciências físicas que estudam o infinitamente pequeno, ou seja, os fenómenos físicos que ocorrem à escala do átomo (Rollet, 2014).

O átomo é constituído por um núcleo central, composto por prótons e neutrões, em torno do qual gravitam eletrões organizados em camadas e subcamadas que possuem níveis de energia distintos (Rollet, 2014).

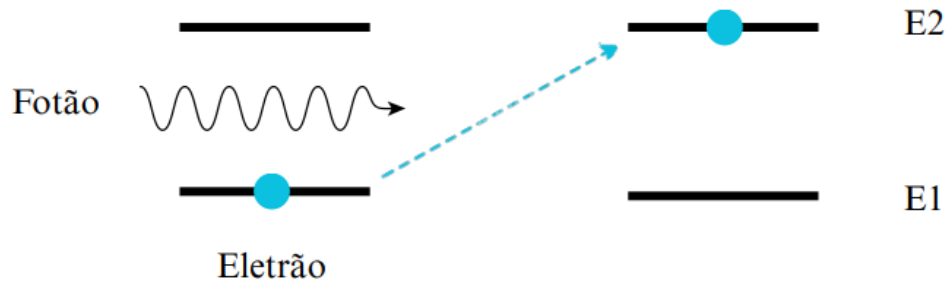


**Figura 3:** Esquema de um átomo  
inspirado do livro de Rollet (2014)

Para compreender o funcionamento do laser, é necessário, em primeiro lugar, analisar as bases das trocas energéticas entre os átomos. Dois fenômenos físicos fundamentais estão envolvidos: a absorção e a emissão, que estão no centro do princípio de funcionamento do laser.

### **2.2.1. Absorção**

A absorção é um fenômeno durante o qual um elétron localizado numa camada de energia, por exemplo  $E_1$ , capta um fóton com uma determinada energia. Esta absorção permite ao elétron passar para uma camada de energia superior,  $E_2$ . O átomo entra então num estado excitado e instável. A frequência do fóton absorvido pode ser determinada pela lei de Planck:  $\nu = E / h$  (sendo  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  a constante de Planck) (Fabre et al., 2015).

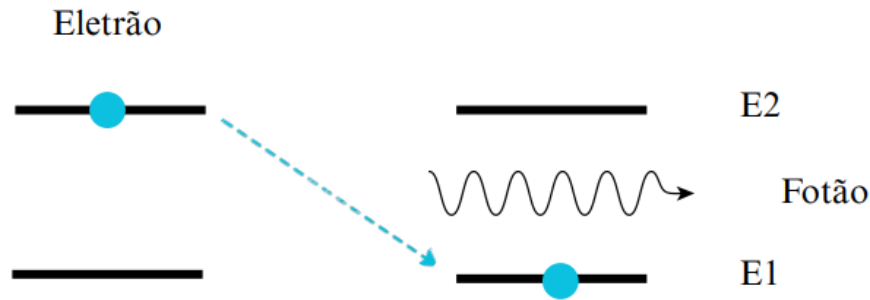


**Figura 4:** Absorção de um fóton por um elétron que muda de órbita  
inspirado do livro de Fabre et al., 2014

## 2.2.2. Emissão

### 2.2.2.1. Emissão espontânea

Quando um elétron absorve um fóton, ganha energia e afasta-se do núcleo, encontrando-se assim num estado instável. No entanto, este estado excitado não é favorável para o átomo, que procurará naturalmente regressar a um estado mais estável. Para tal, o elétron deve libertar a energia anteriormente absorvida. Assim, desce para uma camada de energia inferior, emitindo um fóton com um quantum de energia determinado. Este fenómeno é designado por emissão espontânea (Fabre et al., 2015).

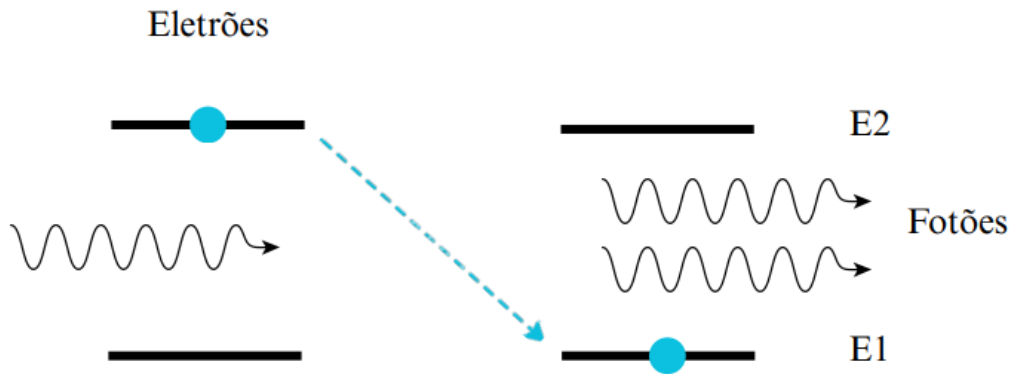


**Figura 5:** Emissão espontânea de um fóton quando o elétron retorna à sua órbita fundamental  
inspirado do livro de Fabre et al., 2015

#### 2.2.2.2. Emissão estimulada

Em 1917, Albert Einstein evidenciou um processo inverso ao da absorção, ao qual deu o nome de emissão estimulada (Poitte, 2013).

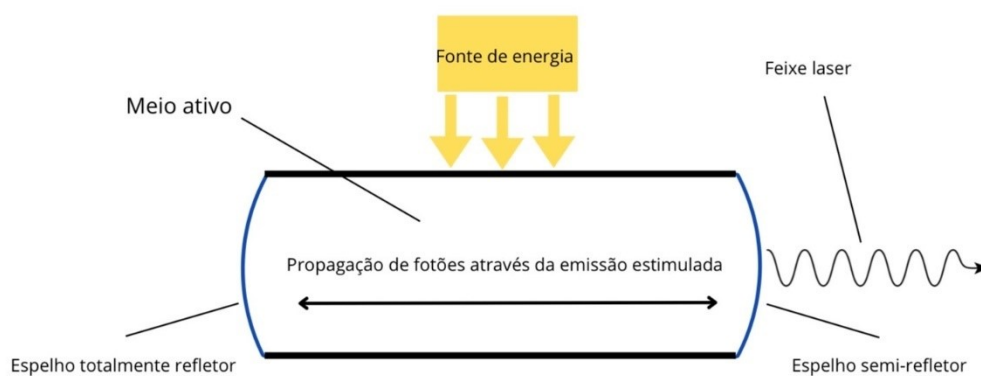
Ao contrário da emissão espontânea, pode acontecer que um átomo excitado não emita imediatamente um fóton. Se um fóton incidente interagir com esse átomo, poderá provocar a transição do elétron para um nível de energia inferior. Esta transição dá origem à emissão de um segundo fóton. O fóton emitido é rigorosamente idêntico ao fóton incidente: mesma frequência, mesma direção, mesmo comprimento de onda e mesma energia. Estão, portanto, em fase. Este princípio constitui a base do mecanismo de amplificação luminosa sobre o qual assenta a tecnologia laser (Rollet, 2014).



**Figura 6:** Emissão estimulada de um fóton  
inspirado do livro de Rollet (2014)

### 2.3. Princípios físicos

O laser é, na realidade, um oscilador ótico capaz de emitir uma onda eletromagnética muito específica. Para funcionar, baseia-se em três elementos principais: um meio ativo, uma cavidade de ressonância e um sistema de bombeamento.



**Figura 7:** Princípio de funcionamento do laser

inspirado do compêndio « Comprendre les bases du laser pour plus de sécurité » (Rives et al., 2016)

### **2.3.1. Meio ativo**

O meio ativo, elemento central do laser, pode ser composto por gases, sólidos ou líquidos. O comprimento de onda do feixe laser produzido dependerá do tipo de meio utilizado, ou seja, do material no qual os átomos e os elétrons são excitados (Coluzzi et al., 2015).

### **2.3.2. Sistema de bombeamento**

O meio ativo é excitado por uma fonte de energia externa, como uma lâmpada pulsada ou, em certos casos, outro laser. Este processo, denominado bombeamento ótico, proposto pela primeira vez por Kastler em 1950, permite que os átomos e elétrons do meio ativo passem para um nível de energia mais elevado (Fabre et al., 2015).

### **2.3.3. Cavidade de ressonância**

O meio ativo é colocado no interior de uma cavidade de ressonância, denominada cavidade de Fabry-Perot. Nesta cavidade, os átomos e elétrons sofrem emissões estimuladas devido à energia fornecida pela fonte externa, originando então inversões de população. São utilizados dois espelhos: um totalmente refletor e o outro semi-refletor. Estes espelhos aprisionam os fótons coerentes, fazendo-os refletir repetidamente entre si. Quando o ganho criado pela emissão estimulada se torna suficientemente elevado, é emitido espontaneamente um feixe luminoso quase monocromático, que atravessa o espelho semi-refletor (Coluzzi et al., 2015).

### **2.3.4. O comprimento de onda**

O comprimento de onda é uma característica fundamental do feixe laser. Toda onda eletromagnética é definida pelo seu comprimento de onda  $\lambda$ , o qual é inversamente proporcional à frequência e é expresso em metros. A cor do feixe laser depende diretamente do seu comprimento de onda. Quanto mais curto for este comprimento de onda, maior será a energia do feixe laser. Um laser possui um amplo espectro de emissão, podendo cobrir intervalos que vão dos raios X ao visível, até aos infravermelhos. Como mencionado anteriormente, um feixe luminoso, e mais especificamente um feixe laser, pode ser absorvido pelos tecidos circundantes. A absorção depende dos cromóforos presentes nesses tecidos. Estas moléculas têm a capacidade de absorver seletivamente o feixe laser. Assim, um tecido rico em cromóforos absorverá o feixe laser de forma mais

eficaz. Deste modo, durante os tratamentos com laser, é essencial escolher corretamente o tipo de laser em função da natureza do tecido-alvo (Rives et al., 2016).

### 2.3.5. A potência

A potência de um laser é determinada através da seguinte fórmula:  $P = dE/dt$ , onde  $P$  é a potência expressa em watts (W),  $dE$  é a variação da energia fornecida, expressa em joules (J), e  $dt$  é o intervalo de tempo, expresso em segundos (s) (Stephan, 2020).

### 2.3.6. A fluência e a irradiância

A fluência e a irradiância são dois parâmetros-chave para compreender os modos de emissão contínua e pulsada dos lasers. A fluência, particularmente importante no modo pulsado, é definida pela fórmula:  $F = E/S$ , onde  $F$  é a fluência expressa em  $J.cm^{-2}$ ,  $E$  é a energia expressa em joules e  $S$  é a superfície expressa em  $cm^2$  (Stephan, 2020).

### 2.3.7. Modos de emissão do laser

- **Modo contínuo:** o feixe laser é emitido com uma potência constante ao longo do tempo. A fonte de energia de bombardeamento, que atua sobre o meio ativo, mantém-se estável e não varia. Este modo é utilizado principalmente para produzir efeitos fototérmicos sobre os tecidos moles (Coluzzi et al., 2015).
- **Modo pulsado:** o feixe laser é emitido sob a forma de impulsos breves. A luz laser é emitida em pacotes, com intervalos de repouso entre cada impulso. Isso permite que o tecido irradiado arrefeça ligeiramente entre os impulsos, evitando assim um sobreaquecimento excessivo. Este modo é amplamente utilizado em medicina dentária e gera efeitos mecânicos sobre os tecidos (Coluzzi et al., 2015).

## 2.4. Efeitos do laser

Certos parâmetros do feixe laser, como o comprimento de onda, a duração da exposição e a densidade de potência, influenciam o tipo de interação que o feixe terá com os tecidos (Rives et al., 2016).

### **2.4.1. Efeito fototérmico**

O efeito fototérmico representa a principal interação entre o laser e os tecidos. A energia emitida pelo feixe laser é convertida em calor, e os seus efeitos variam consoante a temperatura atingida:

- Entre 45°C e 60°C, o laser induz uma hiperemia tecidual, provocando vasodilatação com uma desnaturação de proteínas (Rives et al., 2016).
- Entre 60°C e 90°C, o laser provoca coagulação através da desnaturação das proteínas plasmáticas. Este processo torna o sangue mais viscoso, favorecendo a formação de coágulos, o que contribui para a redução da hemorragia, nomeadamente durante intervenções cirúrgicas (Rives et al., 2016).
- Acima dos 90°C, o feixe laser provoca a carbonização dos tecidos, resultando assim na morte celular (Rives et al., 2016).

### **2.4.2. Efeito fotomecânico ou fotodisrupção**

O efeito fotomecânico, ou fotodisrupção, ocorre quando os átomos alvo do feixe laser são ionizados, originando um microplasma. Este fenómeno gera uma onda de choque acústica que provoca uma rutura microscópica dos tecidos. Este efeito é principalmente explorado no tratamento de tecidos duros, como no tratamento de cáries ou na remoção de restaurações antigas, sendo por vezes também referido como efeito fotoablativo (Steiner, 2013).

### **2.4.3. Efeito fotoelétrico**

O efeito fotoelétrico ocorre durante a fotoplasmólise, em que a energia do feixe laser ioniza os tecidos, criando iões com carga negativa. Este processo favorece a reparação ou a regeneração dos nervos (Debta et al., 2022).

### **2.4.4. Efeito fotoquímico**

O efeito fotoquímico refere-se à interação entre um comprimento de onda e cromóforos endógenos (parte de uma molécula que absorve os fotões da luz visível) ou corantes artificiais, com o objetivo de promover reações biológicas *in vivo*, visando facilitar diagnósticos ou tratamentos. Este efeito fotoquímico inclui:

- **Fotobiomodulação:** baseia-se na capacidade dos fótons emitidos pelo laser influenciarem o metabolismo celular e as cascatas de sinalização no interior das células dos tecidos-alvo. A fotobiomodulação pode levar a um aumento da proliferação e migração celular (por exemplo, dos fibroblastos), bem como a uma melhor oxigenação dos tecidos. Estes efeitos têm repercussões benéficas na cicatrização de feridas, regeneração tecidual e redução da dor (Steiner, 2013).
- **A terapia fotodinâmica:** A terapia fotodinâmica é uma reação fotoquímica que se baseia em três elementos essenciais: um sensibilizante, oxigénio molecular e uma fonte de luz para a ativação. O sensibilizante é absorvido pelo tecido-alvo, sendo depois excitado pelos fótons emitidos pela fonte de luz, o que eleva o seu estado energético. Esta energia liberta espécies reativas de oxigénio (ERO) que destroem as bactérias presentes nos tecidos e células (Steiner, 2013).
- **A fluorescência:** A fluorescência é um fenómeno descoberto há mais de um século. Os investigadores observaram a fluorescência natural de certos tecidos, como a fluorescência verde natural dos tecidos dentários saudáveis. Notaram também uma fluorescência mais fraca nos tecidos dentários com lesões de cárie. A utilização de lasers que emitem um comprimento de onda específico permite diferenciar a composição dos tecidos, o que é particularmente útil em várias áreas da medicina dentária, nomeadamente para o diagnóstico de certos casos clínicos (Steiner, 2013).

## 2.5. Os diferentes tipos de laser

Foi em 1917, graças aos trabalhos de investigação de Albert Einstein, que se descobriu o princípio da inversão de população, na origem da emissão estimulada. No entanto, só em 1960 é que Theodore Maiman conseguiu produzir luz com a ajuda de um cristal de rubi, marcando assim o início da tecnologia laser. Atualmente, o laser é considerado uma das fontes de luz mais versáteis (Saleh, 2016).

O termo *laser*, acrónimo de «*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*», designa uma tecnologia utilizada em periodontologia desde a década de 1980, principalmente no contexto da cirurgia periodontal.

Os lasers são classificados em duas grandes categorias:

- **Lasers de alta potência:** são principalmente utilizados na cirurgia de tecidos moles e duros, mas também para o desbridamento de bolsas periodontais, bem como para a descontaminação das superfícies radiculares. Entre os lasers mais frequentemente utilizados em tratamentos não cirúrgicos encontram-se o laser Nd:YAG (1064 nm), o laser Er:YAG (2940 nm) e o laser de diodo de alta potência (808–904 nm) (Theodoro et al., 2021).
- **Lasers de baixa potência:** amplamente utilizados em periodontologia pelos seus efeitos de fotobiomodulação tecidual, permitem reduzir a inflamação, acelerar a cicatrização e diminuir a dor pós-operatória. Podem também ser utilizados como ativadores de corantes fotossensibilizantes na terapia fotodinâmica antimicrobiana (que será abordada na secção seguinte). Estes lasers atuam principalmente ao nível da cadeia respiratória celular, induzindo um aumento da vascularização (angiogénese), uma modulação da resposta inflamatória e uma aceleração da reparação tecidual (Theodoro et al., 2021).

O objetivo da terapêutica periodontal é interromper o processo inflamatório através de tratamentos não cirúrgicos e, em certos casos, cirúrgicos. No entanto, os tratamentos periodontais convencionais podem, por vezes, não ser totalmente eficazes. Nestes casos, a utilização de adjuvantes como o laser pode ser considerada para ajudar a reduzir a carga bacteriana presente nas bolsas periodontais. Com efeito, como já foi referido, vários fatores como a profundidade das bolsas, a anatomia das raízes ou a presença de bactérias resistentes podem dificultar o tratamento periodontal, tornando assim necessário o recurso a meios complementares como a terapia laser (Ramalingam & Peeran, 2021; Vohra et al., 2020).

### **2.5.1. O laser de diodo**

#### **2.5.1.1. Propriedades físicas**

O laser de diodo foi desenvolvido em 1964 por Robert N. Hall. A sua estrutura distingue-se da dos lasers «clássicos» representados anteriormente (ver figura 7). Ao contrário dos lasers tradicionais, os lasers de diodo são dispositivos semicondutores sólidos. Não possuem uma cavidade ótica com dois espelhos opostos; a geração de fotões ocorre através da passagem de uma corrente elétrica entre dois semicondutores e não por

bombeamento ótico. Esta corrente é então convertida em energia luminosa e transmitida aos tecidos por meio de uma fibra ótica (Faragalla et al., 2021). O meio amplificador pode ser constituído por diferentes materiais semicondutores sólidos, como o arsenieto de gálio (GaAs), o alumínio (Al) ou o índio (In). Em periodontologia, o laser de diodo está disponível em diferentes comprimentos de onda: 810–830 nm; 940 nm; 980 nm e 1064 nm (Alrikabi & Saeed, 2023). Emite principalmente no domínio do infravermelho e pode funcionar em modo pulsado ou contínuo, dependendo das indicações clínicas (Coluzzi et al., 2015).

O feixe de laser emitido é principalmente absorvido pela melanina, pela hemoglobina, bem como por alguns pigmentos presentes em bactérias patogénicas. Esta absorção permite a destruição dessas bactérias através da energia fornecida pelo feixe (Lalli et al., 2024).

### **2.5.1.2. Vantagens na terapia periodontal**

#### **Características gerais**

O laser de diodo é um dispositivo compacto, valorizado pelos profissionais pela sua versatilidade e facilidade de utilização. É capaz de desempenhar várias funções clínicas: desinfeção de bolsas periodontais, coagulação de tecidos moles, estimulação da cicatrização, entre outras. Leve e de simples manuseamento, o seu comprimento de onda e potência podem ser ajustados consoante as necessidades clínicas. A sua energia é transmitida aos tecidos-alvo através de uma fibra ótica, o que permite uma boa precisão e manobrabilidade (Shahnaz et al., 2018).

#### **Efeito antibacteriano**

O efeito antibacteriano do laser de diodo foi explorado em vários estudos clínicos que compararam dois grupos de participantes com periodontite: um grupo tratado apenas com destartarização e AR e outro com destartarização e AR associado ao uso do laser de diodo. Os resultados mostraram uma redução mais significativa de determinadas bactérias, como *Aa*, *Prevotella intermedia* e *Pg*, no grupo que recebeu tratamento com laser (Abdullah et al., 2023; Agarwal et al., 2021). Esta eficácia pode ser explicada pela destruição dos fatores de virulência (LPS, proteases) e por uma afinidade do laser por

certos cromóforos bacterianos, levando à lise da parede celular. Os trabalhos pioneiros de Moritz et al. (1997) já haviam destacado este potencial antibacteriano.

No entanto, é importante salientar que alguns ensaios não reportaram diferenças significativas entre os grupos, evidenciando a variabilidade dos resultados consoante os protocolos utilizados. Assim, embora promissor, o efeito antibacteriano do laser carece ainda de confirmação através de estudos adicionais, com metodologias rigorosas e amostras mais amplas (Patel et al., 2023).

### **Índices periodontais**

Numerosos estudos avaliaram o impacto do laser de diodo sobre os índices clínicos periodontais: o IP, o IG, a PS e a PIC. O desenho experimental é geralmente semelhante: comparação entre um grupo tratado apenas com AR e outro que recebeu AR complementado com laser de diodo. Diversos estudos evidenciaram uma redução mais acentuada do IP e do IG no grupo adjuvante (Crispino et al., 2015; Poormoradi et al., 2024). No entanto, outros autores não observaram diferenças significativas entre os dois grupos (Lalli et al., 2024). No que diz respeito à profundidade das bolsas periodontais, os resultados mostram-se mais consistentes: foi observada uma diminuição significativa quando o laser de diodo é utilizado como complemento ao AR (Siddiqui et al., 2024; Singh et al., 2022). Do mesmo modo, foram reportadas melhorias na inserção clínica interproximal (Siddiqui et al., 2024).

Apesar destes resultados encorajadores, o reduzido tamanho amostral em alguns estudos limita o alcance estatístico das conclusões. Assim, é necessário continuar a investigação com coortes de maiores dimensões para confirmar os benefícios descritos.

### **Avaliação pós-operatória**

O impacto do laser de diodo na dor pós-operatória constitui um eixo de interesse crescente. Alguns estudos relataram um alívio da dor percebida pelos participantes após o tratamento (Alrikabi & Saeed, 2023). Além disso, Chow et al. demonstraram que o laser pode exercer efeitos inibitórios sobre certos nervos periféricos, reduzindo assim a dor aguda através de uma inibição direta dos nociceptores. Estes dados sugerem uma perspectiva interessante para melhorar o conforto dos pacientes, embora sejam necessários mais estudos para aprofundar esta linha de investigação (Chow et al., 2011).

### 2.5.1.3. Precauções e limitações na terapia periodontal

Como referido anteriormente, a utilização do laser de diodo como adjuvante aos tratamentos convencionais revela-se promissora, com resultados encorajadores em diversos parâmetros clínicos, tais como os índices periodontais e a redução da dor pós-operatória. No entanto, é importante salientar algumas limitações no estado atual do conhecimento. Com efeito, apesar dos dados positivos provenientes de vários estudos, a FEP ainda não integrou o uso do laser de diodo nas suas recomendações clínicas oficiais para o tratamento da periodontite. Esta posição justifica-se, nomeadamente, pela falta de provas científicas sólidas e uniformes. Torna-se, portanto, necessário realizar um maior número de estudos com amostras mais alargadas, a fim de obter níveis de evidência mais robustos que permitam estabelecer um consenso (Alghafri et al., 2024).

Outra limitação dos estudos sobre o laser de diodo reside na ausência de consenso quanto aos parâmetros utilizados, nomeadamente o comprimento de onda e a potência do laser. O laser de diodo pode ser utilizado com diferentes comprimentos de onda, mas parece que esta escolha influencia diretamente a eficácia dos resultados terapêuticos. Esta variabilidade poderá explicar as divergências observadas entre os diferentes estudos (Alghafri et al., 2024). Por exemplo, Euzebio Alves e colaboradores realizaram um estudo onde utilizaram um laser de diodo com um comprimento de onda de 808 nm (idêntico ao utilizado por Alghafri et al., 2024) que mostrou uma melhoria clínica ao longo do tempo, sem, no entanto, revelar diferenças significativas entre o grupo tratado apenas com destartarização e AR e o grupo tratado com destartarização e AR associado ao laser de diodo (Euzebio Alves et al., 2013). Por outro lado, outros estudos comparáveis, que utilizaram um comprimento de onda de 980 nm, demonstraram efeitos clínicos e microbiológicos significativos (Kamma et al., 2009).

Algumas revisões sistemáticas, como a de Magdalena Pawelczyk-Madalińska e colaboradores, destacam as divergências entre os resultados, sublinhando a ausência de protocolos padronizados e um elevado risco de viés, o que dificulta a avaliação da eficácia do laser de diodo. A implementação de um protocolo de utilização padronizado representa, portanto, um desafio importante, exigindo mais estudos e ensaios clínicos baseados em metodologias rigorosas (Pawelczyk-Madalińska et al., 2021).

## **2.5.2. O laser Er:YAG**

### **2.5.2.1. Propriedades físicas**

O laser Er:YAG, acrónimo de *erbium-doped yttrium aluminium garnet* (granada de ítrio e alumínio dopada com érbio), foi introduzido por Zharikov em 1975. Utiliza como meio ativo um cristal sólido de granada de ítrio-alumínio (YAG) dopado com iões de érbio ( $\text{Er}^{3+}$ ). O seu comprimento de onda é de 2940 nm, o que o posiciona na fronteira entre o infravermelho próximo e o infravermelho médio, numa zona invisível do espectro eletromagnético. Este laser é ativado por uma lâmpada pulsada (flashlamp). O seu feixe apresenta uma forte absorção na água e na hidroxiapatite, o que o torna particularmente adequado para utilização em tecidos duros (como o cimento e a dentina, ricos em hidroxiapatite), bem como em tecidos moles (como a gengiva), compostos maioritariamente por água. A energia emitida aquece a água presente nos tecidos-alvo, transformando-a em vapor. Isso provoca pequenas explosões que resultam na ablação do tecido exposto, protegendo ao mesmo tempo as estruturas subjacentes. Este processo de ablação baseia-se num mecanismo termomecânico, permitindo uma remoção seletiva de certos tecidos duros, como o tártaro, com um risco térmico reduzido para os tecidos circundantes (Ishikawa et al., 2004).

### **2.5.2.2. Vantagens na terapia periodontal**

#### **Elevada absorção pela água e ablação eficaz dos tecidos**

A energia do feixe do laser Er:YAG é fortemente absorvida pela água. O coeficiente de absorção do laser Er:YAG na água é 20 000 vezes superior ao dos lasers Nd:YAG. A luz laser é absorvida pela camada superficial, não penetrando profundamente nos tecidos nem se dispersando. Nos tecidos moles, o feixe laser provoca uma evaporação térmica, também chamada de vaporização. Nos tecidos duros, provoca uma ablação mediada pela água através de efeitos fototérmicos ou fotomecânicos, sem causar danos nos tecidos circundantes. Estas reações permitem uma remoção precisa e controlada dos tecidos, minimizando simultaneamente os riscos de danos térmicos nos tecidos adjacentes, ao transformar a energia em energia mecânica em vez de calor (Aoki et al., 2024).

## Danos térmicos mínimos e cicatrização dos tecidos

Vários estudos, nomeadamente o realizado por Sawabe e colaboradores em 2013, demonstraram que a ablação dos tecidos gengivais com recurso ao laser Er:YAG provoca danos térmicos mínimos nos tecidos adjacentes à zona tratada. Os autores concluíram que este laser representa uma ferramenta segura e apropriada para o tratamento dos tecidos moles periodontais (Sawabe et al., 2013). Esta constatação deve-se à forte absorção pela água combinada com o elevado teor aquoso dos tecidos periodontais, o que naturalmente limita o impacto térmico.

Além disso, durante o tratamento das bolsas periodontais, o laser Er:YAG estimula as células dos tecidos gengivais, induzindo uma proliferação significativa de fibroblastos gengivais do ligamento periodontal, bem como de osteoblastos, promovendo assim a cicatrização dos tecidos (Aoki et al., 2024).

A investigação nesta área continua a evoluir com o objetivo de compreender melhor o potencial efeito cicatrizante do laser Er:YAG. Um estudo realizado por Ng e colaboradores em 2024, demonstrou que este tipo de laser parece capaz de favorecer a proliferação celular e a cicatrização de feridas. Neste estudo, fibroblastos do ligamento periodontal humano foram estimulados com os LPS da bactéria *Pg*, frequentemente presente em participantes com periodontite, com o intuito de simular um estado patológico. Com efeito, os LPS desempenham um papel importante no desenvolvimento da doença, induzindo a produção de diversas citocinas pró-inflamatórias, como as interleucinas 6 e 8 no ligamento periodontal. Os LPS também favorecem o aparecimento de inflamassomas como o NLRP3, envolvidos nesta secreção. O estudo demonstrou que a irradiação destas culturas celulares resultava numa diminuição significativa destes mediadores inflamatórios, nomeadamente IL-6, IL-8 e NLRP3. Estes resultados sugerem, assim, uma abordagem terapêutica alternativa no tratamento da periodontite, ao direcionar-se para os inflamassomas presentes no ligamento periodontal, o que poderia contribuir para melhorar a proliferação celular e a cicatrização das feridas (Ng et al., 2024).

## **Propriedades bactericidas**

O laser Er:YAG parece apresentar múltiplas vantagens na terapêutica periodontal. Diversos estudos procuraram demonstrar as suas propriedades bactericidas. Ando e os seus colaboradores avaliaram os efeitos do laser Er:YAG sobre colónias de *Pg* e *Aa* cultivadas em caixas de Petri cobertas com gel de ágar. As zonas irradiadas pelo laser Er:YAG, mesmo a baixa potência, revelaram zonas de inibição do crescimento bacteriano. Esta observação constitui um indício promissor quanto ao efeito bactericida do feixe laser sobre os MO periodontopatogénicos, embora seja necessário garantir que estas zonas de inibição não se devam a outros fatores, como uma ablação explosiva das bactérias (Ando, 1996).

Yaneva e os seus colaboradores também evidenciaram o efeito antibacteriano do laser Er:YAG, nomeadamente sobre as bactérias patogénicas do complexo vermelho, como *T. forsythia*. A utilização do laser Er:YAG como complemento ao destartarização e ao AR parece, assim, demonstrar uma eficácia bactericida duradoura (Yaneva et al., 2014).

## **Parâmetros clínicos periodontais**

Os índices periodontais como o IP, o IG, a HS, a PS e a PIC são parâmetros essenciais a avaliar no tratamento da periodontite.

Em vários estudos, nomeadamente o de Yaneva e colaboradores em 2023, estes índices foram analisados dividindo os participantes em dois grupos: um grupo controlo, tratado com instrumentação manual, e um grupo teste, tratado com laser Er:YAG. Os resultados mostraram que não havia diferenças significativas iniciais entre os dois grupos relativamente a HS e a PIC, embora os seus valores tenham diminuído em ambos os casos. No entanto, três meses após o tratamento, os investigadores observaram uma redução significativa do HS no grupo tratado com laser, assim como um ganho significativo de inserção clínica na região interdentária. Relativamente à PS, observou-se também uma ligeira diferença considerada estatisticamente significativa (Yaneva et al., 2023). Uma década antes, Crespi e os seus colaboradores chegaram a conclusões semelhantes relativamente a PS e a PIC (Crespi et al., 2007).

Além disso, em alguns estudos que compararam os tratamentos convencionais com AR com os tratamentos com laser Er:YAG, os investigadores estudaram ainda a percepção de dor dos participantes. No estudo conduzido por Ma e colaboradores, os participantes descreveram a terapia com laser como mais suave. De facto, o laser não emite vibração nem ruído significativo, o que contribui para uma maior tranquilidade dos pacientes durante o tratamento. Os profissionais de saúde também notaram uma diminuição do medo e da ansiedade nos indivíduos tratados com o laser (Ma et al., 2018).

### **2.5.2.3. Precauções e limitações na terapia periodontal**

Após a análise de múltiplos estudos clínicos sobre o tratamento das doenças periodontais com recurso ao laser Er:YAG, é necessário, no entanto, descrever reservas quanto à sua utilização. Com efeito, embora tenham sido realizados numerosos estudos, e continuem a ser conduzidos nos últimos anos, nem todos resultam em dados positivos significativos. Apesar de alguns efeitos benéficos terem sido observados a curto ou a longo prazo, a eficácia desta abordagem permanece ainda incerta (Gufran et al., 2024).

Assim, embora a terapia com laser pareça promissora, ensaios clínicos randomizados mais robustos, com amostras maiores e períodos de acompanhamento mais prolongados, parecem necessários para confirmar a sua eficácia e definir claramente as suas indicações.

### **2.5.3. O laser Nd:YAG**

#### **2.5.3.1. Propriedades físicas**

O laser Nd:YAG, acrónimo do inglês *Neodymium-doped yttrium aluminium garnet*, foi inventado em 1964 por Geusic, Marcos e Van Uitert (Zimmerman & Whittle, 2022). Este laser emite um feixe de luz no domínio do infravermelho com um comprimento de onda de 1064 nm e funciona de forma pulsada, produzindo energia sob a forma de impulsos de fotões em vez de um feixe contínuo. É composto por um cristal sólido de granada de ítrio-alumínio (YAG) como meio ativo, dopado com iões de neodímio (Nd<sup>3+</sup>). Tal como o laser Er:YAG, o Nd:YAG pode ser bombeado por uma lâmpada pulsada (flashlamp), mas também por um laser díodo. A transmissão do feixe pode ocorrer por dois espelhos ou por uma fibra ótica, tal como no laser díodo, dependendo da potência do laser. Com efeito, a fibra ótica é geralmente utilizada para lasers de baixa a média potência. O feixe do laser é maioritariamente absorvido pela

melanina, menos pela hemoglobina e muito pouco pela água. Devido ao seu modo de emissão pulsado, o laser Nd:YAG liberta potências elevadas durante períodos muito curtos, com intervalos entre os impulsos que permitem o arrefecimento dos tecidos-alvo entre cada disparo (Smith & Mott, 2015).

### **2.5.3.2. Vantagens na terapia periodontal**

#### **Propriedades antimicrobianas e de descontaminação**

O laser Nd:YAG tem sido amplamente estudado, nomeadamente pelas suas propriedades de descontaminação das bolsas periodontais, especialmente pelos seus efeitos antibacterianos. Diversos estudos *in vitro* têm sido desenvolvidos sobre este tema. Em 2010, Kranendonk e os seus colaboradores realizaram uma experiência a partir de amostras de placa subgingival recolhidas de participantes com periodontite. Estas amostras continham seis MO periodontopatogénicos característicos da doença periodontal: *Aa*, *Pg*, *Prevotella intermedia*, *Tf*, *Fusobacterium nucleatum* e *Parvimonas micra*. Após a inoculação em meios de ágar, as bactérias foram expostas a uma irradiação de 15 segundos com o laser Nd:YAG. Os resultados revelaram a eliminação total das colónias bacterianas, evidenciando o efeito bactericida deste laser (Kranendonk et al., 2010).

Complementarmente, um estudo mais recente realizado por McCawley et al. (2022), também centrado nos patógenos dos complexos vermelho e laranja, demonstrou uma redução de cerca de 59 % da carga bacteriana antes da realização do tratamento por AR, confirmando o interesse da utilização do laser Nd:YAG na estratégia terapêutica periodontal (McCawley et al., 2022).

#### **Propriedades anti-inflamatórias**

O laser Nd:YAG apresenta efeitos anti-inflamatórios notáveis, em particular pela redução de citocinas pró-inflamatórias como a IL-1 $\beta$ . Num estudo realizado por Abbasi e os seus colaboradores (2019), foi observada uma diminuição significativamente mais acentuada dos níveis de IL-1 $\beta$  nos participantes tratados com o AR associado à irradiação com o laser Nd:YAG, em comparação com aqueles que receberam apenas o tratamento mecânico. Esta redução sugere um possível papel deste laser na modulação da resposta inflamatória. No entanto, os autores referem algumas limitações metodológicas,

nomeadamente a ausência de informações detalhadas sobre os parâmetros utilizados (energia, impulso, duração da irradiação, frequência dos impulsos, diâmetro da fibra ótica, etc.), o que limita a reprodutibilidade e a generalização dos resultados. Apesar disso, estes dados indicam um interesse promissor na utilização do laser Nd:YAG para a redução da inflamação periodontal, justificando estudos adicionais com amostras maiores (Abbasi et al., 2019).

Outros trabalhos também apoiam estas observações. Em 2024, Xie et al. evidenciaram que a irradiação com laser Nd:YAG favorece a cicatrização dos tecidos periodontais, exercendo simultaneamente um efeito inibidor sobre os mediadores da inflamação. O laser induz, nomeadamente, a proliferação dos fibroblastos gengivais, estimula as células do ligamento periodontal e promove a expressão dos fatores de crescimento epidérmico (EGF) e dos fatores de crescimento de fibroblastos (bFGF). Paralelamente, observou-se uma inibição da expressão do TNF $\alpha$ . Estes mecanismos biológicos poderão explicar a melhoria da cicatrização observada nas bolsas periodontais tratadas com este tipo de laser. No entanto, os autores insistem na necessidade de prosseguir com investigações a longo prazo para compreender e confirmar melhor estes efeitos (Xie et al., 2024).

### **Cicatrização tecidual: hemostase e coagulação**

O laser Nd:YAG também apresenta propriedades interessantes no que diz respeito à hemostase e à coagulação, o que constitui uma mais-valia no contexto do tratamento periodontal. Vários estudos, como os de Losin et al., demonstraram que a irradiação com o laser Nd:YAG provoca um aumento local da temperatura nos tecidos-alvo. Esta produção de calor leva a uma coagulação rápida dos tecidos sanguíneos, facilitando assim a obtenção da hemostasia (Losin et al., 2020).

Sendo um laser pulsado, o Nd:YAG é capaz, como referido anteriormente, de emitir potências de pico elevadas, permitindo ao mesmo tempo o arrefecimento dos tecidos entre os impulsos. A regulação dos parâmetros desempenha um papel essencial consoante o efeito pretendido: uma energia elevada (em milijoules), combinada com uma frequência de repetição baixa (em Hertz), favorece a coagulação, enquanto que, inversamente, uma energia baixa associada a uma frequência elevada é geralmente utilizada para a descontaminação dos tecidos (Smith & Mott, 2015).

No contexto periodontal, a ação térmica do laser contribui para a coagulação dos vasos sanguíneos nas bolsas periodontais, permitindo um controlo eficaz das hemorragias. Este efeito hemostático melhora a visibilidade operatória durante o tratamento e contribui para uma cicatrização mais estável. Este poder hemostático, relacionado com a ação térmica do laser, torna assim o laser Nd:YAG uma ferramenta particularmente útil, inclusive como complemento ao desbridamento mecânico.

### **Parâmetros clínicos periodontais**

O laser Nd:YAG demonstrou resultados positivos em relação a determinados parâmetros clínicos, como a PS, o nível de inserção clínica e a HS, especialmente quando utilizado como complemento ao desbridamento mecânico. Tal como os outros tipos de laser mencionados anteriormente, o laser Nd:YAG tem sido objeto de numerosos estudos científicos.

Em 2024, Xie et al. avaliaram os efeitos do laser Nd:YAG sobre a PS, a PIC e a HS. Comparando o grupo tratado apenas com debridamento e AR com outro grupo que recebeu, adicionalmente, uma irradiação com laser, observaram uma redução significativa destes parâmetros no grupo tratado com o laser (Xie et al., 2024).

Outros trabalhos, como o realizado por Ezber et al. em 2023, também demonstraram uma diminuição mais acentuada da PS e da PIC no grupo que recebeu a terapia com laser. No entanto, os autores salientam a necessidade de recorrer a amostras de maior dimensão para confirmar estes resultados (Ezber et al., 2023). Conclusões semelhantes foram relatadas por Alkan et al. um ano antes (Alkan et al., 2022).

### **2.5.3.3. Precauções e limitações na terapia periodontal**

A terapia laser, seja com o laser Nd:YAG ou com outros tipos de laser, ainda não é unanimemente validada pela comunidade científica devido aos resultados por vezes contraditórios reportados na literatura dos estudos.

Alguns estudos interessaram-se pela escolha dos parâmetros de irradiação, nomeadamente a potência utilizada. Por exemplo, Markou et al. evidenciaram que os dados contraditórios relativamente à utilização adjuvante do laser Nd:YAG poderiam ser atribuídos, em parte, a um elevado nível de heterogeneidade e a uma variação nos

protocolos, nomeadamente nos parâmetros de irradiação, como a energia, o número de aplicações ou o diâmetro da extremidade do laser (Markou et al., 2022).

Outras investigações, como a realizada por Laky e colaboradores, evidenciaram algumas limitações potenciais na aplicação do laser Nd:YAG no que diz respeito aos danos térmicos. Com efeito, o cálculo subgingival, geralmente escuro devido à sua pigmentação por sangue ou bactérias, absorve fortemente a luz emitida pelo laser. No entanto, essa absorção pode levar a um aumento rápido da temperatura dos tecidos e, conseqüentemente, provocar danos térmicos ao nível das superfícies radiculares. Assim, a potência do laser deve ser cuidadosamente controlada, a fim de evitar efeitos indesejáveis (Laky et al., 2021).

Assim, apesar dos resultados encorajadores relatados por Alkan e colaboradores em 2022, continua a ser essencial realizar investigações a longo prazo, com avaliações clínicas, bioquímicas e microbiológicas aprofundadas, de modo a compreender melhor a eficácia real desta abordagem terapêutica (Alkan et al., 2022).

#### **2.5.4. Síntese dos dados clínicos sobre os principais lasers utilizados em periodontologia**

Com o objetivo de sintetizar os principais pontos abordados, as três tabelas seguintes comparam os três tipos de laser anteriormente descritos: o laser de diodo, o laser Er:YAG e o laser Nd:YAG, de forma a proporcionar uma visão geral e clara sobre os seus mecanismos de ação, os efeitos clínicos, bem como as suas limitações atuais e perspectivas de investigação futura necessárias nesta área.

Tipo de laser	Mecanismo de ação	Efeitos clínicos observados	Limitações, precauções e perspectivas de investigação
Laser de diodo (810–1064 nm)	<p>Feixe laser principalmente absorvido pela melanina e pela hemoglobina (Lalli et al., 2024)</p> <p>→ Efeito fototérmico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Redução significativa das bactérias (Abdullah et al., 2023)</li> <li>▪ Reduções acentuadas do IP, IG e PS, com melhoria da inserção clínica interdentária (Poormoradi et al., 2024; Siddiqui et al., 2024)</li> <li>▪ Menor dor pós-operatória: efeitos inibitórios sobre os nervos periféricos (Alrikabi &amp; Saeed, 2023)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necessidade de confirmação do efeito antibacteriano através de estudos com amostras maiores (Patel et al., 2023)</li> <li>▪ Resultados encorajadores na redução dos parâmetros clínicos periodontais, mas tamanho da amostra demasiado reduzido (Lalli et al., 2024)</li> <li>▪ Falta de evidências científicas sólidas (Alghafri et al., 2024)</li> <li>▪ Ausência de consenso relativamente aos parâmetros físicos utilizados no laser (comprimento de onda, potência) (Alghafri et al., 2024)</li> </ul>

**Tabela 3:** Tabela resumo dos mecanismos de ação, efeitos clínicos observados, limitações e perspectivas de investigação do laser de diodo

Tipo de laser	Mecanismo de ação	Efeitos clínicos observados	Limitações, precauções e perspectivas de investigação
Laser Er:YAG (2940 nm)	<p>Feixe laser altamente absorvido pela água e pela hidroxiapatite</p> <p>→ Efeito termomecânico de ablação</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Danos mínimos nos tecidos adjacentes (Sawabe et al., 2023)</li> <li>▪ Proliferação significativa de fibroblastos, promovendo melhor cicatrização (Aoki et al., 2024)</li> <li>▪ Redução significativa dos mediadores inflamatórios (Ng et al., 2024)</li> <li>▪ Propriedades bactericidas sobre as bactérias do complexo vermelho (Yaneva et al., 2024)</li> <li>▪ Diminuição da HS e da PS, com ganho significativo de inserção clínica interdentária (Yaneva et al., 2023)</li> <li>▪ Maior conforto durante o tratamento (Ma et al., 2018)</li> </ul>	<p>Nem todos os estudos apresentam resultados significativos</p> <p>→ Necessidade de mais estudos com amostras maiores (Gufran et al., 2024)</p>

**Tabela 4:** Tabela resumo dos mecanismos de ação, efeitos clínicos observados, limitações e perspectivas de investigação do laser Er:YAG

Tipo de laser	Mecanismo de ação	Efeitos clínicos observados	Limitações, precauções e perspectivas de investigação
<p style="text-align: center;"><b>Laser Nd:YAG (1064 nm)</b></p>	<p>Feixe laser absorvido pela melanina e pela hemoglobina, com penetração tecidual profunda devido à fraca absorção pela água. Emissão pulsada com elevada densidade de energia</p> <p style="text-align: center;">→ Efeito fototérmico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Efeitos antibacterianos, com redução da carga bacteriana (complexos vermelho e laranja) (McCawley et al., 2022)</li> <li>▪ Propriedades anti-inflamatórias: redução das citocinas pró-inflamatórias (Abbasi et al., 2019)</li> <li>▪ Favorece a cicatrização dos tecidos periodontais (Xie et al., 2024)</li> <li>▪ Coagulação rápida dos tecidos-alvo (Losin et al., 2020)</li> <li>▪ Redução da PS, da HS e aumento dos níveis de inserção clínica (Xie et al., 2024)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausência de informações detalhadas sobre os parâmetros físicos do laser (energia, duração da irradiação, etc) (Abbasi et al., 2019)</li> <li>▪ Necessidade de amostras mais numerosas (Ezber et al., 2023) e de estudos a mais longo prazo (Alkan et al., 2022)</li> </ul>

**Tabela 5:** Tabela resumo dos mecanismos de ação, efeitos clínicos observados, limitações e perspectivas de investigação do laser Nd:YAG

Esta síntese permite, assim, identificar os benefícios clínicos de cada tipo de laser, mas também destacar os desafios e as lacunas de investigação atualmente existentes, justificando, desta forma, a necessidade de realizar novos estudos nesta área.

Tal como os tratamentos convencionais, a utilização do laser no tratamento da periodontite apresenta algumas limitações. Num contexto de constante progresso científico, a terapia fotodinâmica antimicrobiana surge como uma abordagem promissora, oferecendo novas perspectivas de investigação e de melhoria nesta área (Chambrone et al., 2018).

### **3. A terapia fotodinâmica antimicrobiana (aPDT)**

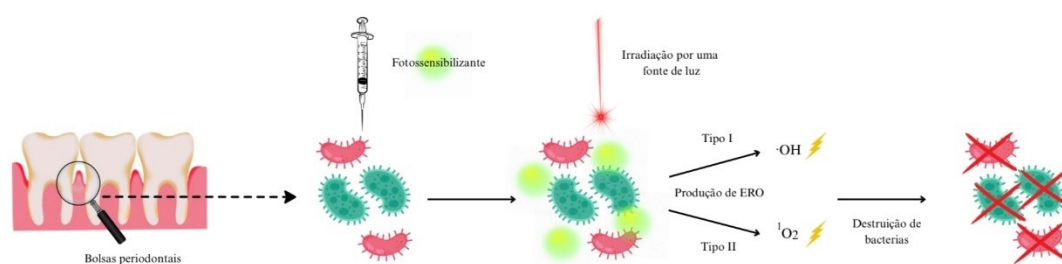
#### **3.1. Princípios fundamentais**

As primeiras aplicações modernas da fototerapia datam do início do século XIX. Em 1903, o Prémio Nobel da Medicina foi atribuído a Nils Finsen pelos seus trabalhos sobre a utilização da fototerapia no tratamento do lúpus, graças à famosa lâmpada de Finsen (Grzybowski et al., 2016).

A terapia fotodinâmica antimicrobiana surgiu oficialmente no início do século XX, quando Oskar Raab e Hermann von Tappeiner «observaram que os protozoários *Paramecium spp.* corados com laranja de acridina morriam sob o efeito de uma luz intensa». O termo «fototerapia antimicrobiana» foi proposto pela primeira vez em 1981 por John Toth, após ter evidenciado o efeito fotoquímico desta técnica. A aPDT baseia-se na utilização de um corante fotossensível não tóxico, denominado fotossensibilizante (FS), combinado com uma fonte de luz visível de baixa energia, cuja o comprimento de onda é adequado ao espectro de absorção do FS. Uma vez ativado pela luz, o FS gera as ERO, que possuem uma ação tóxica direcionada contra as membranas, as proteínas ou ainda os ácidos nucleicos, conduzindo assim à morte das bactérias. Durante esta etapa, o oxigénio, no seu estado tripleto ( $^3\text{O}_2$ ), passa para um estado excitado singleto ( $^1\text{O}_2$ ). Este estado é muito mais reativo e será mais eficaz na destruição das bactérias. Esta terapia baseia-se, assim, numa reação fotoquímica, induzindo uma fotoisomerização do pigmento patogénico, que se transforma então num isómero não tóxico, facilmente eliminado pelo organismo (Chambrone et al., 2018).

Dois tipos de reações podem ser desencadeadas em função do FS escolhido e da sua concentração em oxigénio. Na reação do tipo I, há produção de radicais livres como os radicais hidroxilo (OH), enquanto que na reação do tipo II, há formação de oxigénio singleto ( $^1\text{O}_2$ ). O conjunto destes produtos reativos é geralmente agrupado sob o termo de espécies reativas de oxigénio (ERO) (Perumal et al., 2024).

A terapia fotodinâmica antimicrobiana baseia-se então em três características indispensáveis: o FS, a fonte de luz e a presença de oxigénio.



**Figura 8:** Princípio de funcionamento da terapia fotodinâmica

Inspirado do artigo de Sivaramakrishnan & Sridharan (2018)

### 3.1.1. Critérios de escolha de um fotossensibilizante

A escolha do FS constitui uma etapa essencial para garantir o sucesso da terapia fotodinâmica antimicrobiana. De facto, diferentes características devem ser consideradas para assegurar a sua eficácia clínica e a sua segurança (Barberi-Heyob et al., 2007; Klausen et al., 2020):

- **Natureza catiónica:** é preferível que o FS apresente uma carga positiva, pois isso permite uma melhor ligação às paredes bacterianas, que são carregadas negativamente.
- **Espetro de absorção:** o FS deve ser capaz de absorver eficazmente a luz no comprimento de onda da fonte de luz utilizada, com um coeficiente de absorção elevado no tecido alvo.

- **Tempo de vida:** o estado tripleto do FS deve ser estável durante um tempo suficiente para favorecer a produção de um número elevado de ERO.
- **Alta solubilidade em água:** o FS deve possuir uma alta solubilidade em água para garantir uma distribuição homogênea nos tecidos e uma eliminação eficaz pelos mecanismos fisiológicos.
- **Baixa toxicidade:** o FS não deve apresentar toxicidade para os tecidos saudáveis adjacentes, com o objetivo de limitar os efeitos adversos quando não for irradiado.
- **Foto-estabilidade:** o FS deve manter uma estabilidade adequada após a irradiação pela fonte de luz para garantir a sua eficácia.

### 3.1.2. Principais tipos de fotossensibilizantes

Um dos elementos chave da terapia fotodinâmica antimicrobiana é a utilização de um FS. Vários tipos de FS demonstraram uma eficácia particular no tratamento da periodontite. Entre os mais utilizados na medicina dentária e na periodontologia destacam-se o azul de toluidina (ATO) e o azul de metileno (Couto et al., 2021; Haas et al., 2021). Outros FS, como a curcumina, a riboflavina, a eosina-Y, o rosa de Bengala e o verde malaquita também são utilizados (Bourbour et al., 2024).

A maioria dos FS são ativados pela luz vermelha, geralmente na faixa de 630 a 700 nm, e a profundidade de penetração da luz varia entre 0,5 cm e 1,5 cm (Bourbour et al., 2024).

- **Azul de metileno (AM):** o azul de metileno é um dos corantes mais utilizados em medicina dentária. Ele pertence à família dos cloretos de fenotiazina. Trata-se de um FS catiónico, de baixo peso molecular, com propriedades hidrofílicas. Estas características facilitam a sua difusão através dos canais proteicos das membranas bacterianas. A sua carga positiva reforça a sua afinidade pelas bactérias periodontopatogénicas, cujas membranas são geralmente carregadas negativamente. O AM é aprovado pela FDA (Bourbour et al., 2024). O seu pico de absorção situa-se entre 660 e 670 nm. É mais frequentemente ativado por uma fonte de luz LED, método vantajoso devido ao seu baixo custo. Pode também ser ativado por outras fontes luminosas, como os lasers vermelhos de baixo nível ou os lasers de diodo (Bourbour et al., 2024). A sua aplicação varia geralmente entre 1 e 5 minutos (Perumal et al., 2024).

- **Azul de toluidina O (ATO):** o ATO é um corante básico derivado das aminas aromáticas, pertencente à família das tiazinas. Tal como o AM, é amplamente utilizado na medicina dentária. Este corante é um FS de baixo peso molecular e anfifílico, o que facilita a sua passagem através das membranas bacterianas. O seu espetro de emissão estende-se de 620 a 660 nm, com um comprimento de onda máximo de absorção a 632 nm +/- 8 nm. O ATO age principalmente com os LPS das bactérias Gram-negativas e é acidófilo, o que lhe permite ligar-se aos ácidos nucleicos e, portanto, ao material nuclear dos tecidos. Além disso, é considerado um corante de baixa toxicidade, não apresentando efeitos nocivos particulares nos tecidos adjacentes. É também económico. No âmbito da terapia fotodinâmica antimicrobiana, o ATO é eficazmente ativado por uma fonte de luz LED (Bourbour et al., 2024).
- **Curcumina:** A curcumina é um FS de origem natural, composto por um polifenol presente na curcuma. Uma vez solubilizada, ela absorve a luz na região azul do espetro luminoso. Este FS apresenta vários benefícios na medicina dentária devido às suas propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e antibacterianas (Bourbour et al., 2024). A curcumina é ativada por luz azul, numa faixa de comprimentos de onda entre 300 e 500 nm, com um pico de absorção em torno de 470 nm (Couto et al., 2024). Os LEDs azuis são as fontes de luz mais frequentemente utilizadas para a sua ativação. A sua utilização em periodontologia foi aprovada pela FDA, reforçando assim o seu interesse no âmbito da terapia fotodinâmica antimicrobiana (Bourbour et al., 2024).

Assim, embora o AM e o ATO sejam os dois FS mais estudados na atualidade, a curcumina também parece ser um FS promissor na área da periodontologia (Bourbour et al., 2024).

### **3.1.3. Fontes de luz**

Para funcionar, a terapia fotodinâmica antimicrobiana necessita de fontes de luz. Estas são tão importantes quanto os FS (Piksa et al., 2023).

Para escolher uma fonte de luz, é necessário selecioná-la com base em diferentes critérios (Piksa et al., 2023):

- O comprimento de onda da fonte de luz deve ser absorvido pelo FS e deve estar na região do espectro de absorção do FS.
- O comprimento de onda da fonte de luz deve ser capaz de se propagar suficientemente no tecido alvo para realizar o tratamento desejado. É necessário estudar as suas qualidades de absorção, emissão e reflexão. De facto, como estudado anteriormente, a absorção da luz depende de diferentes parâmetros, como o teor de água ou de hemoglobina do tecido irradiado.
- O comprimento de onda da fonte de luz utilizada para ativar o FS deve, certamente, produzir uma radiação suficiente, mas também deve ser segura para os tecidos saudáveis adjacentes.
- Os custos, a segurança e o tamanho dos equipamentos são também critérios a considerar.

No entanto, algumas fontes de luz devem ser evitadas, como as luzes UV (< 400 nm), que revelam ter um potencial de mutação do DNA, levando à oncogénese. Estudos também mostraram que a luz UV pode, por exemplo, induzir a apoptose dos fibroblastos.

Diferentes fontes de luz podem ser então utilizadas, como os lasers ou as LEDs.

### **3.1.3.1. Laser**

O laser é a fonte de luz mais comumente utilizada no âmbito da terapia fotodinâmica antimicrobiana. Como referido anteriormente, trata-se de uma luz coerente, monocromática e colimada (Piksa et al., 2023). Em periodontologia, os lasers de diodo são maioritariamente utilizados devido à sua compatibilidade com FS como o AM ou o ATO. Os comprimentos de onda utilizados variam geralmente entre 660 e 830 nm, correspondendo assim aos picos de absorção destes dois FS (Derikvand et al., 2020; Jahangirnejad et al., 2017). A potência de saída destes lasers situa-se, em geral, entre 30 e 150 mW. As fluências aplicadas variam consoante os protocolos, podendo ir de 2 a 45 J/cm<sup>2</sup> (Bourbour et al., 2024; Derikvand et al., 2020). A duração da irradiação também oscila entre 10 e 300 segundos, dependendo de vários parâmetros, como a potência utilizada e o tipo de tecido irradiado (Vohra et al., 2014). Outros parâmetros influenciam igualmente a escolha e a eficácia do laser: o diâmetro da fibra ótica, bem como o método de aplicação, são essenciais para o bom desenrolar do tratamento (Vohra et al., 2014).

### **3.1.3.2. LED**

O diodo emissor de luz (LED) é uma das fontes de luz utilizadas em terapia fotodinâmica antimicrobiana. Trata-se de um dispositivo electrónico composto por um material semiconductor, que pode ser inorgânico ou orgânico. Quando uma tensão eléctrica é aplicada ao semiconductor, as cargas eléctricas são colocadas em movimento. O seu encontro gera uma libertação de energia sob a forma de luz (Piksa et al., 2023).

Os diodos emissor de luz a semiconductor inorgânico, simplesmente chamados de LED, são compostos por cristais rígidos, sólidos mas muito frágeis, como o InGaN, o AlGaInP, o AlGaAs ou ainda o GaP (Piksa et al., 2023). Apresentam várias vantagens: são pouco dispendiosos em comparação com outras fontes de luz, de pequeno tamanho e, portanto, fáceis de transportar (Kim & Darafsheh, 2020). Ao contrário dos lasers, os LEDs não produzem uma luz perfeitamente monocromática nem coerente. Contudo, a sua emissão luminosa continua a ser mais intensa do que a de uma lâmpada clássica. O espectro de absorção é relativamente estreito, geralmente entre 20 e 40 nm. Este espectro permite direccionar a maioria dos FS usados em aPDT, sem necessidade de filtro (Piksa et al., 2023).

Os diodos emissor de luz a semiconductor orgânico, chamados OLED, são compostos por materiais à base de carbono. São flexíveis, amorfos, leves e fáceis de fabricar. O seu espectro de emissão estende-se do UV próximo até ao IR próximo. Em contrapartida, a sua irradiância é mais baixa do que a dos LEDs inorgânicos, rondando os 5mW/cm<sup>2</sup>, o que exige tempos de aplicação mais longos. No entanto, alguns estudos sugerem que os OLED poderiam, a longo prazo, representar uma alternativa ideal como fonte de luz para a aPDT (Piksa et al., 2023).

## **3.2. Aplicações clínicas**

### **3.2.1. Indicações terapêuticas**

Como mencionado anteriormente, devido às várias limitações dos tratamentos convencionais, nomeadamente nas zonas de difícil acesso das bolsas periodontais, várias pesquisas foram realizadas com o intuito de reforçar a eficácia destes tratamentos.

Nos últimos anos, a aPDT tem sido amplamente estudada para definir o seu papel potencial como adjuvante no tratamento das doenças periodontais, como a periodontite e a peri-implantite (Caton et al., 2018).

Outros tratamentos adjuvantes, como a antibioterapia, também foram explorados para reduzir a carga de patógenos periodontais presentes nas bolsas periodontais. Embora os antibióticos tenham mostrado ser eficazes, o seu uso regular pode levar ao desenvolvimento de resistências bacterianas ou desencadear reações alérgicas (Aragón et al., 2021).

Perante essas limitações, outras pesquisas foram realizadas para propor alternativas aos antibióticos e demonstrar a existência de métodos complementares aos tratamentos convencionais, nomeadamente nos casos em que estes não são suficientes por si só para curar a periodontite.

Vários estudos evidenciaram os efeitos benéficos da aPDT no tratamento da periodontite. Ela apresenta várias vantagens que favorecem a cura das bolsas periodontais, nomeadamente um efeito antibacteriano, um efeito anti-inflamatório e uma ação cicatrizante sobre os tecidos (Liu et al., 2015).

### **3.2.2. Propriedades biológicas**

A terapia fotodinâmica antimicrobiana tem-se revelado, nos últimos anos, um tratamento adjunto em periodontologia. De facto, ela possui benefícios graças aos seus efeitos antibacterianos, anti-inflamatórios, mas também cicatrizantes.

#### **3.2.2.1. Efeito antibacteriano**

Vários estudos foram realizados nas últimas décadas para avaliar os potenciais efeitos antibacterianos da aPDT. Diferentes tipos de estudos, como pesquisas *in vitro*, *ex vivo* ou ainda *in vivo*, foram realizados.

Em 2017, Jahangirnejad e seus colaboradores conduziram um estudo *in vitro* sobre o comportamento da bactéria *Pg* após a injeção de AM seguida de irradiação por laser de diodo. As culturas bacterianas foram expostas a diferentes durações de irradiação: 5, 10, 15 e 30 segundos. Os resultados mostraram uma redução das colónias bacterianas para os grupos irradiados durante 5 e 10 segundos. Nos grupos submetidos a 15 e 30

segundos de irradiação, foi observada uma destruição quase completa das colónias (Jahangirnejad et al., 2017).

Da mesma forma, Haag e seus colaboradores realizaram em 2015 um estudo *in vitro* com o objetivo de demonstrar o efeito antibacteriano da aPDT em bactérias periodontopatogênicas. O objetivo deles era avaliar a diminuição, ou até a completa interrupção do crescimento bacteriano em condições laboratoriais. Eles observaram uma forte redução da carga bacteriana. No entanto, os autores destacaram uma variabilidade significativa nos resultados de um estudo para o outro. De facto, a diminuição do número de bactérias parecia depender do seu modo de organização: a redução foi mais acentuada quando as bactérias estavam na fase planctónica (livres na saliva, por exemplo), do que quando estavam organizadas em biofilmes. Essa observação destaca a necessidade de realizar mais estudos *in vitro* bem controlados, bem como ensaios clínicos randomizados, para definir melhor os efeitos antibacterianos da aPDT (Haag et al., 2015).

Durante a aPDT, as ERO, produzidas pela ativação dos FS sob o efeito da fonte luminosa, agem sobre diversos constituintes das células bacterianas. Um estudo realizado em 2000 por Packer e seus colaboradores procurou determinar se as ERO poderiam afetar a atividade proteolítica de *Pg*. Os resultados sugerem que a exposição ao laser He-Ne na presença de ATO diminui a atividade proteolítica de *Pg*. Além disso, 99,99 % das bactérias foram destruídas e uma diminuição contínua da atividade proteolítica foi observada após a irradiação, tornando essa abordagem terapêutica particularmente promissora (Packer et al., 2000).

Outro tipo de estudo, do tipo *ex vivo*, foi realizado por Fontana e seus colaboradores em 2009. Eles evidenciaram uma redução significativa dos MO na fase planctónica (63 % de destruição) após coloração com AM e irradiação com luz vermelha. No entanto, essa percentagem foi mais baixa quando as bactérias estavam organizadas sob a forma de biofilmes. O estudo também conclui que a aPDT é mais eficaz que a antibioterapia. No entanto, os autores destacam a necessidade de desenvolver novas abordagens de administração e de direcionamento específico para as bactérias para reduzir a variabilidade dos critérios (Fontana et al., 2009).

### 3.2.2.2. Ação anti-inflamatória

Tal como as investigações realizadas sobre os efeitos antibacterianos da terapia fotodinâmica antimicrobiana, os seus efeitos anti-inflamatórios representam também uma vertente de estudo particularmente interessante.

Neste contexto, vários estudos clínicos foram conduzidos em humanos com metodologias semelhantes, avaliando o impacto da aPDT em parâmetros inflamatórios. Areas e Souza e os seus colaboradores interessaram-se pela evolução da HS da cavidade oral. Dois grupos foram comparados: um tratado apenas com destartarização e AR e outro associado a uma única sessão de aPDT. Após três sessões de aPDT, o grupo tratado com a combinação de AR e aPDT apresentou uma redução significativa da HS (Areas e Souza et al., 2021).

Mais recentemente, em 2023, Brinar e os seus colaboradores avaliaram o índice de HS através da marcação das bolsas periodontais com verde de indocianina, ativado por um laser diodo a 810 nm. Embora se tenha verificado uma melhoria dos parâmetros clínicos periodontais nos dois grupos estudados, as diferenças ao nível da HS não se revelaram estatisticamente significativas (Brinar et al., 2023).

A aPDT parece atenuar a resposta inflamatória ao reduzir a virulência de certos fatores bacterianos, como os LPS. Esta modulação da resposta imunitária traduz-se, nomeadamente, por uma diminuição na libertação de citocinas pró-inflamatórias, tais como IL-1 $\beta$  e TNF $\alpha$  (Nie et al., 2024).

Assim, embora alguns estudos evidenciem um efeito anti-inflamatório da aPDT sobre os tecidos periodontais, serão necessárias investigações complementares, de maior duração e com um número mais alargado de participantes, para confirmar estes resultados e permitir a padronização dos protocolos terapêuticos.

### 3.2.2.3. Cicatrização dos tecidos

Outro efeito potencialmente benéfico da terapia fotodinâmica antimicrobiana parece ser a sua capacidade de favorecer a cicatrização dos tecidos periodontais. Diversos estudos centraram-se na evolução de parâmetros clínicos como a PS e a PIC.

Num estudo realizado por Chambrone e os seus colaboradores em 2018, foram analisadas várias meta-análises que revelaram uma melhoria significativa no nível de inserção clínica, bem como uma redução da PS após o tratamento com aPDT. No entanto, os autores sublinham que é necessário um maior número de estudos para se obterem conclusões mais robustas e coerentes entre as diferentes investigações realizadas (Chambrone et al., 2018).

No mesmo ano, Ahad e os seus colaboradores realizaram um estudo com base num protocolo clássico, comparando um grupo tratado apenas com destartarização e AR com outro em que se associou uma sessão de aPDT. Foi observada uma redução significativa da PS após um mês no grupo com tratamento combinado. No entanto, ao fim de três meses, os resultados entre os dois grupos eram comparáveis. Os autores sublinham que as variações observadas entre os diferentes estudos podem estar relacionadas com o tipo de FS utilizado, com as características das fontes de luz, bem como com a ausência de padronização da força aplicada durante a sondagem. Assim, recomendam estudos com amostras maiores, um período de acompanhamento mais longo e um protocolo de tratamento mais bem calibrado. Na sua investigação, foi realizada apenas uma sessão de aPDT. É, portanto, possível que resultados mais expressivos sejam obtidos com várias sessões (Ahad et al., 2016).

Este protocolo com múltiplas sessões foi, aliás, explorado anteriormente, nomeadamente por Lulic e os seus colaboradores em 2009. No seu estudo, foram realizadas cinco sessões de aPDT, conduzindo a uma redução significativa da PS no grupo experimental (Lulic et al., 2009).

### **3.3. Vantagens e desvantagens na periodontite**

A terapia fotodinâmica antimicrobiana tem sido alvo de numerosas investigações nos últimos anos devido às vantagens que pode oferecer como complemento aos tratamentos convencionais, como a destartarização e o AR. De facto, esta parece ser capaz de colmatar algumas das limitações impostas pelos tratamentos tradicionais.

Nos pacientes com periodontite, a administração de antibióticos é por vezes indicada para eliminar os MO presentes nas bolsas periodontais. No entanto, o uso repetido destes fármacos pode, por vezes, conduzir ao desenvolvimento de resistências bacterianas (Rams et al., 2014). Em 2014, Rams e os seus colaboradores realizaram um

estudo *in vitro* com o objetivo de avaliar o aparecimento de resistências após a exposição a diferentes antibióticos. Foram cultivadas amostras de bolsas periodontais provenientes de participantes com periodontite crônica. Diversos antibióticos, como a amoxicilina, a clindamicina e o metronidazol, foram administrados a estas estirpes bacterianas. Os resultados mostraram que 74 % dos participantes apresentavam resistência a pelo menos um destes antibióticos (Rams et al., 2014). Perante este cenário, a aPDT surge como uma alternativa interessante, uma vez que apresenta um risco muito inferior de induzir resistência bacteriana, como também demonstrado pelo estudo realizado por Suresh e os seus colaboradores em 2024 (Suresh et al., 2024).

Tal como acontece com qualquer nova abordagem terapêutica, é essencial avaliar os potenciais efeitos indesejáveis. Numa revisão sistemática publicada em 2017, Chambrone e os seus colaboradores não identificaram quaisquer efeitos adversos associados à utilização da aPDT, o que realça a sua inocuidade (Chambrone et al., 2018). Além disso, Rossi et al. inquiriram participantes sobre o seu desconforto pós-operatório, tendo estes relatado ausência de dor e um elevado nível de satisfação (Rossi et al., 2022). Resultados semelhantes foram relatados por Reddy e Gopalkrishna, que também destacaram a eficácia rápida da eliminação bacteriana sem toxicidade sistémica (Reddy & Gopalkrishna, 2022). Para além disso, Liu e os seus colaboradores confirmaram, através do seu estudo, o potencial da aPDT contra estirpes resistentes, numa abordagem pouco ou minimamente invasiva e bem tolerada pelos participantes no estudo (Liu et al., 2015).

No entanto, apesar destas vantagens promissoras, existem algumas desvantagens que merecem ser mencionadas. Por exemplo, a aplicação de FS nas bolsas periodontais pode provocar uma pigmentação temporária dos tecidos gengivais (Louisa & Angelina, 2023).

Por fim, embora numerosos estudos sustentem a eficácia da aPDT no tratamento das doenças periodontais, continua a ser necessário prosseguir com a investigação. Ensaios clínicos de maior escala, com um número mais elevado de participantes, um acompanhamento mais prolongado e uma padronização dos protocolos são indispensáveis para validar definitivamente os seus efeitos e favorecer a sua integração na prática clínica corrente (Fontana et al., 2009; Haag et al., 2015).



### III. CONCLUSÃO

Num contexto em que a periodontite representa um desafio significativo de saúde pública devido à sua elevada prevalência, tornou-se necessário analisar em profundidade os dados recentes da literatura. O objetivo foi avaliar as diferentes opções terapêuticas disponíveis e determinar se estas respondem plenamente às exigências clínicas atuais ou se persistem limitações que justifiquem a procura de soluções alternativas.

A periodontite, doença inflamatória crónica multifatorial associada a biofilmes disbióticos, é geralmente tratada através de destarização e alisamento radicular mecânico. No entanto, vários estudos têm evidenciado limitações destes tratamentos convencionais, o que levou à exploração de novas abordagens terapêuticas.

A utilização da luz, através da terapia laser e da terapia fotodinâmica antimicrobiana, revelou-se promissora. Estes métodos demonstraram efeitos benéficos, nomeadamente antibacterianos, anti-inflamatórios e cicatrizantes. No entanto, a literatura atual ainda apresenta vários vieses metodológicos e, até ao momento, não existe um consenso que permita uma validação completa dessas técnicas em todos os contextos clínicos. A heterogeneidade dos protocolos e a falta de estudos de longa duração limitam a sua integração sistemática na prática.

Apesar de alguns resultados por vezes controversos, as terapias com laser e a terapia fotodinâmica antimicrobiana continuam a ser áreas a aprofundar. O seu potencial justifica a continuação das investigações, com o objetivo de otimizar o tratamento periodontal. A evolução constante da ciência e das tecnologias constitui pontos essenciais para melhorar a saúde oral e periodontal nos próximos anos.



**IV. BIBLIOGRAFIA**

- Abbasi, Z. A., Niaz, A. T., & Butt, S. A. (2019). Effectiveness of periodontal treatment with Nd:YAG laser therapy adjunct to scaling and root planing: a systemic review and meta-analysis. *Lasers in Dental Science*, 3(2), 91–98. <https://doi.org/10.1007/s41547-019-00064-9>
- Abdullah, L. A., Hashim, N., Rehman, M. M., Elhaj, M. H., Mukhtar, M. M., & Gismalla, B. G. (2023). Effectiveness of Diode (810 nm) Laser in Periodontal Parameters and Reduction of Subgingival Bacterial Load in Periodontitis Patients. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 24(12), 1008–1015. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3603>
- Agarwal, A., Saxena, A., Gummaluri, S. S., Chaudhary, B., Sai, K. S. S., & Kumar, G. (2021). Clinical and microbiological evaluation of 940-nm diode laser as an adjunct to modified Widman flap for the management of chronic periodontitis: A 6-month randomized split-mouth clinical trial. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, 15(2), 133–139. <https://doi.org/10.34172/joddd.2021.023>
- Ahad, A., Lamba, A. K., Faraz, F., Tandon, S., Chawla, K., & Yadav, N. (2016). Effect of Antimicrobial Photodynamic Therapy as an Adjunct to Nonsurgical Treatment of Deep Periodontal Pockets: A Clinical Study. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 7(4), 220–226. <https://doi.org/10.15171/jlms.2016.39>
- Alghafri, M., Fadhul, I., Shah, M., Hakam, A., Tawse-Smith, A., Alsabeeha, N. H. M., & Atieh, M. A. (2024). Diode laser as an adjunctive treatment for periodontitis: A randomized controlled trial. *International Journal of Dental Hygiene*, 22(4). <https://doi.org/10.1111/idh.12809>

- Alkan, İ. İ., Akkaya, H. Ü., & Sağlam, M. (2022). The effectiveness of scaling and root planing with combined application of air polishing and Nd:YAG laser in periodontal pockets of stage III grade C periodontitis patients: a single-blinded randomized clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 26(8), 5459–5469. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04513-x>
- Alrikabi, H. A., & saeed, L. A. (2023). The effect of 980 nm diode laser in relieving the periodontal pocket symptoms: a clinical study. *Al-Ameed Journal for Medical Research and Health Sciences*, 1(1). <https://doi.org/10.61631/3005-3188.1000>
- Ando, Y., Aoki, A., Watanabe, H., & Ishikawa, I. (1996). Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria. *Lasers in Surgery and Medicine*, 19(2), 190–200. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9101\(1996\)19:2%3C190::aid-lsm11%3E3.0.co;2-b](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9101(1996)19:2%3C190::aid-lsm11%3E3.0.co;2-b)
- Aoki, A., Mizutani, K., Taniguchi, Y., Lin, T., Yujin Ohsugi, Mikami, R., Katagiri, S., Meinzer, W., & Iwata, T. (2024). Current status of Er:YAG laser in periodontal surgery. *Japanese Dental Science Review*, 60(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2023.11.002>
- Aragón, N., Jaramillo-Echeverry, A., & Howard Ramirez-Malule, H. (2021). Bibliometric analysis of bacterial resistance on periodontal disease. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 11(4). <https://doi.org/10.7324/japs.2021.110414-1>
- Areas e Souza, A., Tavares, K. R., Vidal, P. M., Zuza, E. C., Barceleiro, M. de O., & Fontes, K. B. F. da C. (2021). Reduction of gingival inflammation after 3 sessions of antimicrobial photodynamic therapy in generalized periodontitis non-surgical treatment: a randomized controlled clinical trial. *Lasers in Dental Science*, 5(2), 99–105. <https://doi.org/10.1007/s41547-021-00121-2>

- Barberi-Heyob , M., & Frochot , C. (2007). La thérapie photodynamique. *L'Actualité Chimique*, 308–309. <https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/2007-308-309-mai-juin-p.26-Barberi.pdf>
- Bercy, P. (1996). Le parodonte sain et ses modifications histopathologiques. In P. Bercy & H. Tenenbaum (Eds.), *Parodontologie: Du diagnostic à la pratique* (pp.13-19). De Boeck. <https://fr.scribd.com/document/515948611/Parodontologie-Du-Diagnostic-a-La-Pratique-by-Pierre-Bercy-Henri-Tenenbaum-Z-lib-org>
- Botelho, J., Machado, V., Leira, Y., Proença, L., Chambrone, L., & Mendes, J. J. (2021). Economic burden of periodontitis in the United States and Europe - an updated estimation. *Journal of Periodontology*, 93(3). <https://doi.org/10.1002/JPER.21-0111>
- Bouchard, P., Fournier, B., Godeau, G., Gogly, B., & Senni, K (2015). Le parodonte. In P. Bouchard (Ed.), *Parodontologie Dentisterie Implantaire* (pp. 9-12). Lavoisier. <https://fr.scribd.com/document/718718771/Bouchard-01-Parodontologie-Dentisterie-Implantaire>
- Bourbour, S., Darbandi , A., Bostanghadiri, N., Ghanavati, R., Taheri, B., & Bahador, A. (2024). Effects of Antimicrobial photosensitizers of Photodynamic Therapy (PDT) to Treat Periodontitis. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 25(10), 1209–1229. <https://doi.org/10.2174/1389201024666230720104516>
- Brinar, S., Aleš Skvarča, Gašpirc, B., & Schara, R. (2023). The effect of antimicrobial photodynamic therapy on periodontal disease and glycemic control in patients with type 2 diabetes mellitus. *Clinical Oral Investigations*, 27(10). <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05239-0>
- Carra, M. C., Detzen, L., Kitzmann, J., Woelber, J. P., Ramseier, C. A., & Bouchard, P. (2020). Promoting behavioural changes to improve oral hygiene in patients with

- periodontal diseases: A systematic review. *Journal of Clinical Periodontology*, 47(S22), 72–89. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13234>
- Caton, J. G., Armitage, G., Berglundh, T., Chapple, I. L. C., Jepsen, S., Kornman, K. S., Mealey, B. L., Papapanou, P. N., Sanz, M., & Tonetti, M. S. (2018). A new classification scheme for periodontal and peri-implant diseases and conditions - Introduction and key changes from the 1999 classification. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(s20), S1–S8. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12935>
- Chambrone, L., Wang, H.-L., & Romanos, G. E. (2018). Antimicrobial photodynamic therapy for the treatment of periodontitis and peri-implantitis: An American Academy of Periodontology best evidence review. *Journal of Periodontology*, 89(7), 783–803. <https://doi.org/10.1902/jop.2017.170172>
- Chow, R., Armati, P., Laakso, E.-Liisa., Bjordal, J. M., & Baxter, G. D. (2011). Inhibitory Effects of Laser Irradiation on Peripheral Mammalian Nerves and Relevance to Analgesic Effects: A Systematic Review. *Photomedicine and Laser Surgery*, 29(6), 365–381. <https://doi.org/10.1089/pho.2010.2928>
- Coluzzi, D. J., Convissar, R. A., & Roshkind, D. M. (2015). Laser Fundamentals. In R. A. Convissar (Ed.), *Principles and Practice of Laser Dentistry (2e édition)* (pp.12-25). Mosby (Elsevier). <https://shop.elsevier.com/books/principles-and-practice-of-laser-dentistry/convissar/978-0-323-29762-2>
- Couto, A. C. F., de Carvalho, R. V. H., Brancini, G. T. P., Martins, F. G., Sorgi, C. A., da Silva, R. A. B., Nelson-Filho, P., Paula-Silva, F. W. G., Borsatto, M. C., Braga, G. Ú. L., & Novaes Júnior, A. B. (2021). Photosensitizers attenuate LPS-induced inflammation: implications in dentistry and general health. *Lasers in Medical Science*, 36(4), 913–926. <https://doi.org/10.1007/s10103-020-03180-2>
- Crespi, R., Capparè, P., Toscanelli, I., Gherlone, E., & Romanos, G. E. (2007). Effects of

- Er:YAG Laser Compared to Ultrasonic Scaler in Periodontal Treatment: A 2-Year Follow-Up Split-Mouth Clinical Study. *Journal of Periodontology*, 78(7), 1195–1200. <https://doi.org/10.1902/jop.2007.060460>
- Crispino, A., Figliuzzi, M. M., Iovane, C., Del Giudice, T., Lomanno, S., Pacifico, D., Fortunato, L., & Del Giudice, R. (2015). Effectiveness of a diode laser in addition to non-surgical periodontal therapy: study of intervention. *Annali Di Stomatologia*, 6(1). <https://doi.org/10.11138/ads/2015.6.1.015>
- Debta, F. M., Mishra, E., & Patyal, N. (2022). *A Compendium of Principles and Practice of Laser Biophotonics in Oral Medicine*. Nova Science Publishers. <https://doi.org/10.52305/ewud9733>
- Derikvand, N., Ghasemi, S. S., Safiaghdam, H., Piriaei, H., & Chiniforush, N. (2020). Antimicrobial Photodynamic Therapy with Diode laser and Methylene blue as an adjunct to scaling and root planning: A clinical trial. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 31, 101818. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.101818>
- Euzebio Alves, V. T., de Andrade, A. K. P., Toaliar, J. M., Conde, M. C., Zezell, D. M., Cai, S., Pannuti, C. M., & De Micheli, G. (2013). Clinical and microbiological evaluation of high intensity diode laser adjunct to non-surgical periodontal treatment: a 6-month clinical trial. *Clinical Oral Investigations*, 17(1), 87–95. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0703-7>
- Ezber, A., Taşdemir, İ., Yılmaz, H. E., Narin, F., & Sağlam, M. (2023). Different application procedures of Nd:YAG laser as an adjunct to scaling and root planning in smokers with stage III grade C periodontitis: a single-blind, randomized controlled trial. *Irish Journal of Medical Science (1971 -)*, 192(1), 457–466. <https://doi.org/10.1007/s11845-022-02940-z>
- Fabre, C., Antoine, C., & Treps, N. (2015). *Introduction à la physique moderne: relativité*

*et physique quantique.* Dunod.

<https://fr.scribd.com/document/405625793/Claude-Fabre-Charles-Antoine-Nicolas-Treps-Int-b-ok-org-pdf>

Faragalla, A., Awooda, A. M., Bolad, A., & Ghandour, I. A. (2021). Efficacy of Diode Laser (980 Nm) and Non-Surgical Therapy on Management of Periodontitis? A Randomized Clinical Trial. *Journal of Research in Medical and Dental Science*, 9(7), 166–172. <https://www.jrmds.in/articles/efficacy-of-diode-laser-980-nm-and-nonsurgical-therapy-on-management-of-periodontitisa-randomized-clinical-trial-82325.html>

FDI World Dental Federation. (2015). *L'enjeu des maladies bucco-dentaires – un appel pour une action mondiale. (2nd ed.)*. FDI World Dental Federation. [https://www.fdiworlddental.org/sites/default/files/202103/book\\_spreads\\_oh2\\_fr\\_ench.pdf](https://www.fdiworlddental.org/sites/default/files/202103/book_spreads_oh2_fr_ench.pdf)

FDI World Dental Federation. (2018). *La santé parodontale et les parodontopathies - un guide pratique pour alléger la charge mondiale de morbidité des maladies parodontales. (1st ed.)*. FDI World Dental Federation. [https://www.fdiworlddental.org/sites/default/files/2020-11/gphp-2018-toolkit-fr\\_0.pdf](https://www.fdiworlddental.org/sites/default/files/2020-11/gphp-2018-toolkit-fr_0.pdf)

Firdausi, S., Peni Pujiastuti, & Niken Probosari. (2023). Hubungan Usia dan Jenis Kelamin Dengan Kejadian Penyakit Periodontal Pada Pasien Poli Gigi Puskesmas Arjasa Kabupaten Jember Tahun 2020. *STOMATOGNATIC - Jurnal Kedokteran Gigi*, 20(2), 140–140. <https://doi.org/10.19184/stoma.v20i2.44014>

Fontana, C. R., Abernethy, A. D., Som, S., Ruggiero, K., Doucette, S., Marcantonio, R. C., Boussios, C. I., Kent, R., Goodson, J. M., Tanner, A. C. R., & Soukos, N. S. (2009). The antibacterial effect of photodynamic therapy in dental plaque-derived

- biofilms. *Journal of Periodontal Research*, 44(6), 751–759.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.2008.01187.x>
- Grzybowski, A., Sak, J., & Pawlikowski, J. (2016). A brief report on the history of phototherapy. *Clinics in Dermatology*, 34(5), 532–537.  
<https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2016.05.002>
- Gufran, K., Alqahtani, A. S., Alasqah, M., Alsakr, A., Alkharaan, H., Alzahrani, H. G., & Almutairi, A. (2024). Effect of Er: YAG laser therapy in non-surgical periodontal treatment: an umbrella review. *BMC Oral Health*, 24(1).  
<https://doi.org/10.1186/s12903-024-05120-w>
- Haag, P. A., Steiger-Ronay, V., & Schmidlin, P. R. (2015). The in Vitro Antimicrobial Efficacy of PDT against Periodontopathogenic Bacteria. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(11), 27327–27338.  
<https://doi.org/10.3390/ijms161126027>
- Haas, A. N., Furlaneto, F., Gaio, E. J., Gomes, S. C., Palioto D. B., Castilho, R. M., Sanz, M., & Messoria, M. R. (2021). New tendencies in non-surgical periodontal therapy. *Brazilian Oral Research*, 35(suppl 2). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0095>
- Herrera, D., Sanz, M., Kerschull, M., Jepsen, S., Sculean, A., Berglundh, T., Papapanou, P. N., Chapple, I., & Tonetti, M. S. (2022). Treatment of stage IV periodontitis: The EFP S3 level clinical practice guideline. *Journal of Clinical Periodontology*, 49(S24), 4–71. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13639>
- Houle, M. A., & Grenier, D. (2003). Maladies parodontales : connaissances actuelles. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 33(7), 331–340.  
[https://doi.org/10.1016/s0399-077x\(03\)00203-8](https://doi.org/10.1016/s0399-077x(03)00203-8)
- Ishikawa, I., Aoki, A., & Takasaki, A. A. (2004). Potential applications of Erbium:YAG

- laser in periodontics. *Journal of Periodontal Research*, 39(4), 275–285.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0765.2004.00738.x>
- Jahangirnejad, M., Amirpour, S., Saatsaz, V., & Zaheri Abdehvand, M. (2017). Photodynamic Therapy Effect on Colony Count of *Porphyromonas Gingivalis* (An In Vitro Study). *Jentashapir Journal of Health Research*, 8(3).  
<https://doi.org/10.5812/jjhr.11979>
- Jepsen, S. (2020). Étiopathogénèse de la maladie parodontale. In M. Reners (Ed.), *La parodontologie tout simplement* (pp. 11-18). Information Dentaire.  
<https://fr.scribd.com/document/661348704/La-Parodontologie-tout-simplement>
- Kamma, J. J., Vasdekis, V. G. S., & Romanos, G. E. (2009). The Effect of Diode Laser (980 nm) Treatment on Aggressive Periodontitis: Evaluation of Microbial and Clinical Parameters. *Photomedicine and Laser Surgery*, 27(1), 11–19.  
<https://doi.org/10.1089/pho.2007.2233>
- Kim, M. M., & Darafsheh, A. (2020). Light Sources and Dosimetry Techniques for Photodynamic Therapy. *Photochemistry and Photobiology*, 96(2), 280–294.  
<https://doi.org/10.1111/php.13219>
- Klausen, M., Ucuncu, M., & Bradley, M. (2020). Design of Photosensitizing Agents for Targeted Antimicrobial Photodynamic Therapy. *Molecules*, 25(22), 5239.  
<https://doi.org/10.3390/molecules25225239>
- Kranendonk, A., van der Reijden, W., van Winkelhoff, A., & van der Weijden, G. (2010). The bactericidal effect of a Genius®Nd:YAG laser. *International Journal of Dental Hygiene*, 8(1), 63–67. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5037.2009.00375.x>
- Laky, M., Müller, M., Laky, B., Arslan, M., Wehner, C., Husejnagic, S., Lettner, S., Moritz, A., & Rausch-Fan, X. (2021). Short-term results of the combined application of neodymium-doped yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) laser and

- erbium-doped yttrium aluminum garnet (Er:YAG) laser in the treatment of periodontal disease: a randomized controlled trial. *Clinical Oral Investigations*, 25(11), 6119–6126. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03911-x>
- Lalli, A. K., Dhingra, S., Lalli, A. S., Kaur, G., Gupta, H., & Goyal, S. (2024). Clinical Evaluation of Diode Laser as an Adjunct to Scaling and Root Planing in Patients With Chronic Periodontitis and Type II Diabetes Mellitus: A Split-Mouth Study. *Cureus*, 16(2). <https://doi.org/10.7759/cureus.54178>
- Liu, Y., Qin, R., Zaat, S. A. J., Breukink, E., & Heger, M. (2015). Antibacterial photodynamic therapy: overview of a promising approach to fight antibiotic-resistant bacterial infections. *Journal of Clinical and Translational Research*, 1(3). <https://doi.org/10.18053/jctres.201503.002>
- Losin, K., Yukna, R., Powell, C., Tippetts, J., & Font, K. (2020). Evaluation of Different Dental Lasers' Ability to Congeal Pooled Blood: An In Vitro Study. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 40(4), e147–e154. <https://doi.org/10.11607/prd.4773>
- Louisa, M., & Angelina, L. (2023). Peran photodynamic therapy dalam perawatan periodontal non-bedah. *Jurnal Kedokteran Gigi Terpadu*, 5(1). <https://doi.org/10.25105/jkgt.v5i1.16954>
- Luke, A. M., Mathew, S., Altawash, M. M., & Madan, B. M. (2019). Lasers: A Review With Their Applications in Oral Medicine. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 10(4), 324–329. <https://doi.org/10.15171/jlms.2019.52>
- Lulic, M., Leiggener Görög, I., Salvi, G. E., Ramseier, C. A., Mattheos, N., & Lang, N. P. (2009). One-year outcomes of repeated adjunctive photodynamic therapy during periodontal maintenance: a proof-of-principle randomized-controlled clinical trial. *Journal of Clinical Periodontology*, 36(8), 661–666.

<https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2009.01432.x>

Ma, L., Zhang, X., Ma, Z., Shi, H., Zhang, Y., Wu, M., & Cui, W. (2018). Clinical Effectiveness of Er: YAG Lasers Adjunct to Scaling and Root Planing in Non-Surgical Treatment of Chronic Periodontitis: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Medical Science Monitor*, 24, 7090–7099. <https://doi.org/10.12659/msm.911863>

Machado, V., Botelho, J., Amaral, A., Proença, L., Alves, R., Rua, J., Cavacas, M. A., Delgado, A. S., & Mendes, J. J. (2018). Prevalence and extent of chronic periodontitis and its risk factors in a Portuguese subpopulation: a retrospective cross-sectional study and analysis of Clinical Attachment Loss. *PeerJ*, 6, e5258. <https://doi.org/10.7717/peerj.5258>

Markou, N., Papadelli, A., Nikolidakis, D., Pepelassi, E., Madianos, P., & Karoussis, I. K. (2022). Adjunctive Nd:YAG laser irradiation in the treatment of stage III/IV periodontitis. A 12-month, randomized, controlled trial. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1948246/v1>

McCawley, T. K., McCawley, M. N., & Rams, T. E. (2022). Immediate effect of Nd:YAG laser monotherapy on subgingival periodontal pathogens: a pilot clinical study. *Journal of Periodontal & Implant Science*, 51(1). <https://doi.org/10.5051/jpis.2100900045>

McGuire, M. K., & Nunn, M. E. (1996). Prognosis Versus Actual Outcome. III. The Effectiveness of Clinical Parameters in Accurately Predicting Tooth Survival. *Journal of Periodontology*, 67(7), 666–674. <https://doi.org/10.1902/jop.1996.67.7.666>

Ng, M. Y., Lin, T., Chen, S.-H., Liao, Y.-W., Liu, C.-M., & Yu, C.-C. (2024). Er:YAG laser suppresses pro-inflammatory cytokines expression and inflammasome in

- human periodontal ligament fibroblasts with *Porphyromonas gingivalis*-lipopolysaccharide stimulation. *Journal of Dental Sciences*, 19(2), 1135–1142. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.12.011>
- Nie, M., Zhang, P., Janak Lal Pathak, Wang, X., Wu, Y., Yang, J., & Shen, Y. (2024). Photodynamic therapy in periodontitis: A narrative review. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 40(1). <https://doi.org/10.1111/phpp.12946>
- Packer, S., Bhatti, M., Burns, T., & Wilson, M. (2000). Inactivation of Proteolytic Enzymes from *Porphyromonas gingivalis* Using Light-activated Agents. *Lasers in Medical Science*, 15(1), 24–30. <https://doi.org/10.1007/s101030050043>
- Papapanou, P. N., Sanz, M., Buduneli, N., Dietrich, T., Feres, M., Fine, D. H., Flemmig, T. F., Garcia, R., Giannobile, W. V., Graziani, F., Greenwell, H., Herrera, D., Kao, R. T., Kebschull, M., Kinane, D. F., Kirkwood, K. L., Kocher, T., Kornman, K. S., Kumar, P. S., & Loos, B. G. (2018a). Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of Periodontology*, 89(S1), S173–S182. <https://doi.org/10.1002/jper.17-0721>
- Papapanou, P. N., Sanz, M., Buduneli, N., Dietrich, T., Feres, M., Fine, D. H., Flemmig, T. F., Garcia, R., Giannobile, W. V., Graziani, F., Greenwell, H., Herrera, D., Kao, R. T., Kebschull, M., Kinane, D. F., Kirkwood, K. L., Kocher, T., Kornman, K. S., Kumar, P. S., & Loos, B. G. (2018b). Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of Clinical Periodontology*, 45(S20), S162–S170. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12946>
- Patel, S., Awan, K. H., Freitas, C. M. T., Bhandi, S., Licari, F. W., & Patil, S. (2023). Diode laser targeting red-complex bacteria in periodontitis: a systematic review.

- European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 27(24), 11806–11816. [https://doi.org/10.26355/eurrev\\_202312\\_34779](https://doi.org/10.26355/eurrev_202312_34779)
- Pawelczyk-Madalińska, M., Benedicenti, S., Sălăgean, T., Bordea, I. R., & Hanna, R. (2021). Impact of Adjunctive Diode Laser Application to Non-Surgical Periodontal Therapy on Clinical, Microbiological and Immunological Outcomes in Management of Chronic Periodontitis: A Systematic Review of Human Randomized Controlled Clinical Trials. *Journal of Inflammation Research*, Volume 14, 2515–2545. <https://doi.org/10.2147/jir.s304946>
- Perumal, M. K. K., Renuka, R. R., & Natarajan, P. M. (2024). Evaluating the potency of laser-activated antimicrobial photodynamic therapy utilizing methylene blue as a treatment approach for chronic periodontitis. *Frontiers in Oral Health*, 5. <https://doi.org/10.3389/froh.2024.1407201>
- Piksa, M., Lian, C., Samuel, I. C., Pawlik, K. J., Samuel, I. D. W., & Matczyszyn, K. (2023). The role of the light source in antimicrobial photodynamic therapy. *Chemical Society Reviews*, 52(5), 1697–1722. <https://doi.org/10.1039/D0CS01051K>
- Poitte, T. (2013). *Principes et aspects technologiques du laser*. Le Point Vétérinaire. <https://www.dispomed.com/download/brochures/Laser%20Principes%20et%20Aspects%20technologiques.pdf>
- Poormoradi, B., Rabinezhad, N., Mohamadpour, L., Kazemi, M., & Farhadian, M. (2024). Evaluating the Effects of Diode Laser 940 nm Adjunctive to Conventional Scaling and Root Planning for Gingival Sulcus Disinfection in Chronic Periodontitis Patients. *Avicenna Journal of Dental Research*, 16(1), 35–41. <https://doi.org/10.34172/ajdr.1778>
- Ramalingam, K., & Peeran, S. W. (2021). Scaling and Root planning . In K. Ramalingam

- & S. W. Peeran (Eds.), *Essentials of periodontics & oral implantology* . Saranraj JPS Publication.  
[https://www.researchgate.net/publication/314116069\\_Essentials\\_of\\_Periodontics\\_and\\_Oral\\_Implantology](https://www.researchgate.net/publication/314116069_Essentials_of_Periodontics_and_Oral_Implantology)
- Rams, T. E., Degener, J. E., & van Winkelhoff, A. J. (2014). Antibiotic Resistance in Human Chronic Periodontitis Microbiota. *Journal of Periodontology*, 85(1), 160–169. <https://doi.org/10.1902/jop.2013.130142>
- Reddy, M., & Pratibha Gopalkrishna. (2022). Type 1 diabetes and periodontal disease: a literature review. *PubMed*, 56(1), 22–30. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35401764/>
- Rives, C., Lopez , J., & Devillard , R. (2016). Comprendre les bases du laser pour plus de sécurité. *L'information Dentaire*. [https://dr-rives-clement.chirurgiens-dentistes.fr/wp-content/uploads/2018/07/5-Laser\\_Les-bases.pdf](https://dr-rives-clement.chirurgiens-dentistes.fr/wp-content/uploads/2018/07/5-Laser_Les-bases.pdf)
- Rollet, V. (2014). *La physique quantique (enfin) expliquée simplement*. Institut Pandore . <https://fr.scribd.com/document/589917005/La-Physique-Quantique-Enfin-Expliquee-Simplement>
- Rossi, R., Rispoli, L., Michele Antonio Lopez, Netti, A., Petrini, M., & Adriano Piattelli. (2022). Photodynamic Therapy by Mean of 5-Aminolevulinic Acid for the Management of Periodontitis and Peri-Implantitis: A Retrospective Analysis of 20 Patients. *Antibiotics* , 11(9), 1267–1267. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11091267>
- Saleh, B. (2016). The laser. In M. D. Al-Amri, M. M. El-Gomari, & M. S. Zubairy (Eds.), *Optics in our Time* (pp.71-84). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-31903-2>
- Sanz, M., Herrera, D., Kebschull, M., Chapple, I., Jepsen, S., Beglundh, T., Sculean, A.,

- Tonetti, M. S., Merete Aass, A., Aimetti, M., Kuru, B. E., Belibasakis, G., Blanco, J., Bol-van den Hil, E., Bostanci, N., Bozic, D., Bouchard, P., Buduneli, N., Cairo, F., & Calciolari, E. (2020a). Treatment of stage I–III periodontitis—The EFP S3 level clinical practice guideline. *Journal of Clinical Periodontology*, *47*(S22), 4–60. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13290>
- Sanz, M., Papapanou, P. N., Tonetti, M. S., Greenwell, H., & Kornman, K. (2020b). Guest Editorial: Clarifications on the use of the new classification of periodontitis. *Journal of Periodontology*, *91*(S22). <https://doi.org/10.1002/jper.20-0166>
- Sanz-Sánchez, I., Montero, E., Citterio, F., Romano, F., Molina, A., & Aimetti, M. (2020). Efficacy of access flap procedures compared to subgingival debridement in the treatment of periodontitis. A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, *47*(S22). <https://doi.org/10.1111/jcpe.13259>
- Sawabe, M., Aoki, A., Komaki, M., Iwasaki, K., Ogita, M., & Izumi, Y. (2013). Gingival tissue healing following Er:YAG laser ablation compared to electrosurgery in rats. *Lasers in Medical Science*, *30*(2), 875–883. <https://doi.org/10.1007/s10103-013-1478-z>
- Shahnaz, A., Jamali, R., Mohammadi, F., Khorsand, A., Moslemi, N., & Fekrazad, R. (2017). A preliminary randomized clinical trial comparing diode laser and scalpel periosteal incision during implant surgery: impact on postoperative morbidity and implant survival. *Lasers in Medical Science*, *33*(1), 19–25. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2315-6>
- Shahoumi, L. A., Saleh, M. H. A., & Meghil, M. M. (2023). Virulence Factors of the Periodontal Pathogens: Tools to Evade the Host Immune Response and Promote Carcinogenesis. *Microorganisms*, *11*(1), 115–115. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010115>

- Shiau, H. J., & Reynolds, M. A. (2010). Sex Differences in Destructive Periodontal Disease: A Systematic Review. *Journal of Periodontology*, *81*(10), 1379–1389. <https://doi.org/10.1902/jop.2010.100044>
- Siddiqui, A., Chowdhary, Z., None Anamika, Gupta, D., Loitongbam, M., & Singh, V. (2024). Laser Assisted New Attachment Procedure: An Adjunct to Scaling and Root Planing in Moderate to Deep Periodontal Pockets Treatment. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, *16*(Suppl 4), S3877–S3879. [https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs\\_1219\\_24](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_1219_24)
- Singh, G., Chauhan, S. S., Sharma, S., Sinha, A., & Saksham Kulshrestha. (2022). Clinical study evaluating the effectiveness and efficiency of metrohex plus gel and diode laser therapy along with standard mechanical debridement for managing chronic periodontitis. *Tanta Dental Journal*, *19*(2), 84–88. [https://doi.org/10.4103/tdj.tdj\\_2\\_22](https://doi.org/10.4103/tdj.tdj_2_22)
- Sivaramakrishnan, G., & Sridharan, K. (2018). Photodynamic therapy for the treatment of peri-implant diseases: A network meta-analysis of randomized controlled trials. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *21*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2017.10.013>
- Smith, M. L., & Mott, A. (2015). Laser-Assisted Nonsurgical Periodontal Therapy. In R. A. Convissar (Ed.), *Principles and Practice of Laser Dentistry (2<sup>e</sup> édition)* (pp.27-41). Mosby (Elsevier). <https://shop.elsevier.com/books/principles-and-practice-of-laser-dentistry/convissar/978-0-323-29762-2>
- Steiner, F. (2013). Laser-Gewebe-Wechselwirkungen. In C. Raulin & S. Karsai (Eds.), *Laser der Haut* (pp.26-38). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29910-0>
- Stephan, J.-M. (2020). Laser de faible puissance et utilisation en acupuncture: principes

- physiques et mécanismes d'action. *Acupuncture & Moxibustion*.  
[https://www.researchgate.net/publication/340252942\\_Laser\\_de\\_faible\\_puissance\\_et\\_utilisation\\_en\\_acupuncture\\_principes\\_physiques\\_et\\_mecanismes\\_d'action](https://www.researchgate.net/publication/340252942_Laser_de_faible_puissance_et_utilisation_en_acupuncture_principes_physiques_et_mecanismes_d'action)
- Suresh, N., Joseph, B., Sathyan, P., Sweetey, V. K., Waltimo, T., & Anil, S. (2024). Photodynamic therapy: An emerging therapeutic modality in dentistry. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, *114*, 117962.  
<https://doi.org/10.1016/j.bmc.2024.117962>
- Suvan, J., Leira, Y., Moreno Sancho, F. M., Graziani, F., Derks, J., & Tomasi, C. (2020). Subgingival instrumentation for treatment of periodontitis. A systematic review. *Journal of Clinical Periodontology*, *47*(S22), 155–175.  
<https://doi.org/10.1111/jcpe.13245>
- Taillet, R. (2015). *Optique physique – propagation de la lumière*. (2nd ed.). De Boeck Supérieur. <https://www.deboecksuperieur.com/livre/9782807300057-optique-physique>
- Theodoro, L. H., Marcantonio, R. A. C., Wainwright, M., & Garcia, V. G. (2021). LASER in periodontal treatment: is it an effective treatment or science fiction? *Brazilian Oral Research*, *35*(Suppl. 2). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0099>
- Toda Matéria. (s.d.). *Espectro Eletromagnético: o que é, frequências e comprimentos de onda*. <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>
- Tonetti, M. S., Greenwell, H., & Kornman, K. S. (2018). Staging and grading of periodontitis: Framework and proposal of a new classification and case definition. *Journal of Periodontology*, *89*(1), S159–S172. <https://doi.org/10.1002/jper.18-0006>
- Underner, M., Maes, I., Urban, T., & Meurice, J.-C. . (2009). Effets du tabac sur la

- maladie parodontale. *Revue Des Maladies Respiratoires*, 26(10), 1057–1073.  
[https://doi.org/10.1016/s0761-8425\(09\)73533-8](https://doi.org/10.1016/s0761-8425(09)73533-8)
- Van der Weijden, F. A., & Slot, D. E. (2015). Efficacy of homecare regimens for mechanical plaque removal in managing gingivitis a meta review. *Journal of Clinical Periodontology*, 42(16), S77–S91. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12359>
- Vohra, F., Al-Rifaiy, M. Q., Lillywhite, G., Abu Hassan, M. I., & Javed, F. (2014). Efficacy of mechanical debridement with adjunct antimicrobial photodynamic therapy for the management of peri-implant diseases: a systematic review. *Photochemical & Photobiological Sciences: Official Journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology*, 13(8), 1160–1168. <https://doi.org/10.1039/c4pp00083h>
- Vohra, F., Bukhari, I. A., Sheikh, S. A., Albaijan, R., Naseem, M., & Hussain, M. (2020). Effectiveness of scaling and root planing with and without adjunct probiotic therapy in the treatment of chronic periodontitis among *shamma* users and non-users: A randomized controlled trial. *Journal of Periodontology*, 91(9), 1177–1185. <https://doi.org/10.1002/jper.19-0464>
- Wei, Y., Dang, G.-P., Ren, Z.-Y., Wan, M.-C., Wang, C.-Y., Li, H.-B., Zhang, T., Tay, F. R., & Niu, L.-N. (2024). Recent advances in the pathogenesis and prevention strategies of dental calculus. *Npj Biofilms and Microbiomes*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41522-024-00529-1>
- Woelber, J. P., Bremer, K., Vach, K., König, D., Hellwig, E., Ratka-Krüger, P., Al-Ahmad, A., & Tennert, C. (2016). An oral health optimized diet can reduce gingival and periodontal inflammation in humans - a randomized controlled pilot study. *BMC Oral Health*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-016-0257-1>
- Wolf, H. F., Rateitschak, K. H., & Rateitschak, E. M. (2005). *Parodontologie*. (3e ed.),

Elsevier

Masson.

[https://books.google.pt/books/about/Parodontologie.html?id=VA\\_C\\_ZadtEMC  
&redir\\_esc=y](https://books.google.pt/books/about/Parodontologie.html?id=VA_C_ZadtEMC&redir_esc=y)

World Health Organization. (s.d.). *Oral health*. World Health Organization.  
[https://www.who.int/health-topics/oral-health/#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/oral-health/#tab=tab_1)

Wulandari, P. (2023). The aging process and its relation to periodontal conditions.  
*Exploration of Immunology*, 3, 207–216. <https://doi.org/10.37349/ei.2023.00098>

Xie, Y., Peng, Y., Zhou, T., Lu, S., & Wu, J. (2024). Study on the Mechanism of Nd:YAG  
Laser-Assisted Therapy on the Changes of Subgingival Flora in Periodontitis.  
*PubMed*, 22(1), 547–556. <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.b5795663>

Yaneva, B., Firkova, E., Karaslavova, E., & Romanos, G. E. (2014). Bactericidal effects  
of using a fiber-less Er:YAG laser system for treatment of moderate chronic  
periodontitis: preliminary results. *Quintessence International (Berlin, Germany:  
1985)*, 45(6), 489–497. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a31803>

Yaneva, B., Tomov, G., Karaslavova, E., & Romanos, G. E. (2023). Long-Term Stability  
of Er:YAG Laser Non-Surgical Periodontal Treatment. *Applied Sciences*, 13(21),  
12065. <https://doi.org/10.3390/app132112065>

Yasin, J. N., Mohamed, S. A. S., Haghbayan, M.-H., Heikkonen, J., Tenhunen, H., &  
Plosila, J. (2020). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Collision Avoidance  
Systems and Approaches. *IEEE Access*, 8, 105139–105155.  
<https://doi.org/10.1109/access.2020.3000064>

Zimmerman, A. B. & Whittle, N. (2022). *History of Lasers*. Ento Key.  
<https://entokey.com/history-of-lasers/>

Zubairy, M. S. (2016). A very brief history of light. In M. D. Al-Amri, M. El-Gomati, &  
M. S. Zubairy (Eds.), *Optics in our Time*. (pp.22). Springer.

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-31903-2>

