



UNIVERSIDADE
FERNANDO
PESSOA

MÉTODOS ÓPTICOS COMO FERRAMENTAS DE DIAGNÓSTICO DA VITALIDADE PULPAR NUM CONTEXTO ENDODÔNTICO – REVISÃO SISTEMÁTICA

[Optical methods as diagnostic tools for pulp vitality in a endodontic context – A systematic review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado integrado em medicina dentária

Richard Ferrandez

Orientador:

Doutor António Lobo Ribeiro

Junho 2024

**MÉTODOS ÓPTICOS COMO FERRAMENTAS DE DIAGNÓSTICO
DA VITALIDADE PULPAR NUM CONTEXTO ENDODÔNTICO –
REVISÃO SISTEMÁTICA**

[Optical methods as diagnostic tools for pulp vitality in a endodontic context – A systematic review]

Dissertação de Mestrado

Mestrado integrado em medicina dentária

Richard Ferrandez

Orientador:

Doutor António Lobo Ribeiro

Junho 2024

AGRADECIMENTO

Agradeço ao Professor António Lobo Ribeiro por ter aceite ser o meu orientador de tese, pela sua disponibilidade e pelas correções a este manuscrito. Mais uma vez, obrigado por me ter orientado durante este trabalho de fim de curso.

Aos meus pais, Isabelle e Michel, obrigado por me terem apoiado na minha escolha de reconversão. Obrigado aos meus irmãos, Thierry, Virginie, Julian e Bastien. O vosso apoio durante estes anos, por virem buscar-me ao aeroporto. Desculpem-me por ter perdido grandes momentos em família.

Obrigado aos meus avós Danielle e Jacqui por me terem permitido obter os recursos financeiros para concretizar este projeto. E obrigado pelo vosso apoio incondicional.

Aos meus avós Joséphine e Alexis, sei que estariam orgulhosos de mim. Penso muito em vocês.

Um grande obrigado à minha namorada, Sarah, por me ter levado à biblioteca até tarde para estudar. Obrigado por me teres suportado nestes últimos 2 anos. Coragem, em breve será a tua vez.

Aos meus amigos Lucie, Farah, Jade, Léa, por todos os sushis devorados, todas as noites de jogos, a bela época. E, claro, todas as horas de conversas profundas nos consultórios da clínica. Franck e Carla, por todas as calorias e gotas de suor deixadas no Cross-fit, vou sentir falta disso. Clovis, litros de cerveja demais, sempre sorrindo, fiel no canto direito das mesas altas do Minestrone. Guillaume, meu bretão preferido, a Bretanha nunca será independente, temos de nos conformar com isso. Espero que tudo corra bem para ti. Julien, meu parceiro, que dizer? Somos simplesmente os melhores, a dupla mágica, a odontologia reinventada. Rimos bastante, foi um prazer compartilhar todas essas clínicas contigo.

À Turma 2, o ambiente era incrível. Obrigado!

Obrigado a todos os professores pela paciência e por partilharem a vossa experiência connosco. Obrigado às assistentes pela ajuda e obrigado à secretaria

RESUMO

Objetivo: Esta revisão sistemática tem como objetivo avaliar a eficácia dos métodos ópticos de oximetria pulsátil e de fotopleletismografia para avaliação da vitalidade pulpar, em comparação com os métodos convencionais de teste da sensibilidade pulpar no diagnóstico endodôntico.

Materiais e métodos: A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados: PubMed, Cochrane Library e Science Direct depois do ano 2000 até ao presente. Foram incluídos pacientes adultos com boa saúde geral, sem doença periodontal, sem traumatismo dentário, sem cárie e restaurações extensas nos dentes testados. Os critérios de exclusão são os estudos de revisão sistemática; meta-análise; testes *in-vitro*; teses de dissertação; estudo em animais ou pacientes com traumatismo dentário; cáries; tratamento endodôntico ou restaurações extensas. O risco de viés foi avaliado com a ferramenta QUADAS-2.

Resultados: Todos os estudos mostraram resultados positivos para a detecção do nível de saturação de oxigénio nos dentes vitais. Os estudos comparativos não apresentam uma diferença estatisticamente significativa entre o nível de oxigenação dos dentes testados e os índices de cada paciente. No entanto, de forma geral, o nível de oxigenação era mais elevado nos dedos indicadores dos pacientes do que nos dentes. Na determinação da vitalidade pulpar, é apresentada uma melhor sensibilidade e uma especificidade com a oximetria pulsátil, do que com os testes convencionais.

Conclusão: A oximetria pulsátil é uma ferramenta promissora para o diagnóstico da vitalidade pulpar. A melhoria da precisão permite ajustar o plano de tratamento e pode evitar procedimentos invasivos que teriam sido realizados usando apenas os testes de sensibilidade convencionais. No entanto, alguns fatores que influenciam os resultados devem ser avaliados e melhorados.

Palavras-chave: «Vitalidade da polpa»; «Teste de vitalidade endodôntico»; «Teste diagnóstico»; «Oximetria pulsátil»; «Fotopleletismografia»

ABSTRACT

Objective: The aim of this systematic review was to evaluate the effectiveness of optical pulse oximetry and photoplethysmography methods for assessing pulp vitality compared to conventional methods for testing pulp sensitivity in endodontic diagnosis.

Materials and methods: The bibliographic search was carried out in the following databases: PubMed, Cochrane Library and Science Direct from 2000 to the present day. Adult patients in good general health, with no periodontal disease, no dental trauma, no caries and no extensive restorations on the teeth tested were included. The exclusion criteria were systematic reviews, meta-analysis, in vitro studies, theses, animal studies and patients with dental trauma, caries, endodontic treatment or extensive restorations. The risk of bias was assessed using the QUADAS-2 tool.

Results: All the studies show positive results for detecting the level of oxygen saturation in vital teeth. The comparative studies did not show a statistically significant difference between the oxygenation level of the teeth tested and the indices of each patient. However, in general, the level of oxygenation was higher in the patients' index than in the teeth. Better sensitivity and greater specificity are also shown with pulsatile oximetry to determine pulp vitality compared to conventional tests.

Conclusion: Pulsatile oximetry is a promising tool for diagnosing pulp vitality. Improved accuracy makes it possible to adjust the treatment plan and can avoid invasive procedures that would have been carried out using only conventional sensitivity tests. However, some factors that influence the results should be evaluated and improved.

Keywords: «Pulp vitality»; «Endodontic vitality test»; «Diagnostic test»; «Pulse oximetry»; «Photoplethysmography»

ÍNDICE GERAL

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. METODOLOGÍA.....	5
2.1 Desenho do estudo	5
2.2 Pesquisa bibliográfica e seleção de artigos.....	5
2.3 Critérios de elegibilidade para a seleção dos estudos.....	6
2.4 Riscos de viés.....	6
3. DESENVOLVIMENTO.....	9
3.1 O complexo pulpo-dentinário.....	9
3.1.1 A polpa dentária.....	9
3.1.2 A dentina.....	10
3.1.3 Reações do complexo pulpo-dentinário a agressão cariosa.....	11
3.2 Métodos ópticos de diagnóstico.....	12
3.2.1 Oximetria pulsátil.....	12
3.2.2 Fotopletismografia.....	13
4. RESULTADOS DOS ESTUDOS SELECIONADOS.....	15
5. DISCUSSÃO.....	29
6. CONCLUSÃO.....	35
7. BIBLIOGRAFIA.....	37

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 - Princípio de funcionamento da oximetria pulsátil no dente.....	2
Figura 2 - Princípio de funcionamento do LDF.....	3
Figura 3 - Avaliação do risco de viés em ensaios diagnóstico.....	7
Figura 4 - Fluxograma do processo de seleção dos estudos.....	8
Figura 5 - Esquema da anatomia dentária.....	9

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de comparação dos estudos selecionados.....	27
Tabela 2 - Exemplo de protocolo da oximetria pulsátil, vantagens e inconvenientes...	33

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CN - Controle negativo

CP - Controle positivo

FPG - Fotopletismografia

HbO₂ - Hemoglobina oxigenada

HbR - Hemoglobina desoxigenada

IP - Índice de perfusão

LED - Diodo emissor de luz

LDF - *Laser Doppler Flowmetry*

MeSH - *Medical Subject Heading*

MTA - *Mineral Trioxide Aggregate*

nm - Nanometro

NP - Necrose pulpar

OP - Oximetria pulsátil

PI - Pulpite irreversível

PICO - Paciente/ População; Intervenção; Comparação; Outcome (resultado)

PR - Pulpite reversível

PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-analysis*

QUADAS-2 - *Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies*

SaO₂ - Saturação arterial em oxigênio

SpO₂ - Saturação pulsátil em oxigênio

TENC - Tratamento endodôntico não-cirúrgico

TER - Terapia Endodôntica Regenerativa

1. INTRODUÇÃO

A determinação do estado pulpar de um dente fraturado devido a cárie, lesão iatrogênica, lesão traumática, é sempre importante na tomada de decisão de diagnóstico apropriado (Chen, Abbott, 2009). Deste modo, um dos fatores importantes a determinar é saber se a polpa é vital, ou se está em processo de necrose ou totalmente necrosada. É igualmente importante determinar o carácter reversível ou irreversível da inflamação pulpar. A correcta aquisição destes parâmetros, indica-nos o potencial de conservação do dente a longo prazo, e conseqüentemente que a polpa pode sarar, ou se, pelo contrário, a polpa está danificada ao ponto de planificar um tratamento canal.

No entanto, o diagnóstico baseia-se em informações multifatoriais, como sejam: a história clínica do paciente; a história dentária; a resposta aos testes de diagnóstico durante o exame clínico e o exame radiológico. Todas estas informações são importantes para estabelecer o diagnóstico correcto. Em certos casos, o tratamento do dente lesado requer várias fases de intervenção para se conseguir obter o resultado clínico pretendido.

Existem várias técnicas para avaliar o estado pulpar e confirmar se está doente. Os métodos atuais utilizados por rotina são, na sua maioria, baseados na detecção da sensibilidade pulpar. Por exemplo, os testes térmicos; o teste de frio; o teste elétrico, e que consistem na análise de uma resposta nervosa induzida por estimulação das fibras A-delta e fibras-C do complexo pulpar (Peterson *et al.*, 1999). Os nervos são estimulados, quer por fluxo de fluído dentinário durante as variações de temperatura (isto é uma estimulação termo-mecânica), quer por mudança iónica através da membrana neural que produz alteração do potencial de ação elétrico através de uma estimulação elétrica.

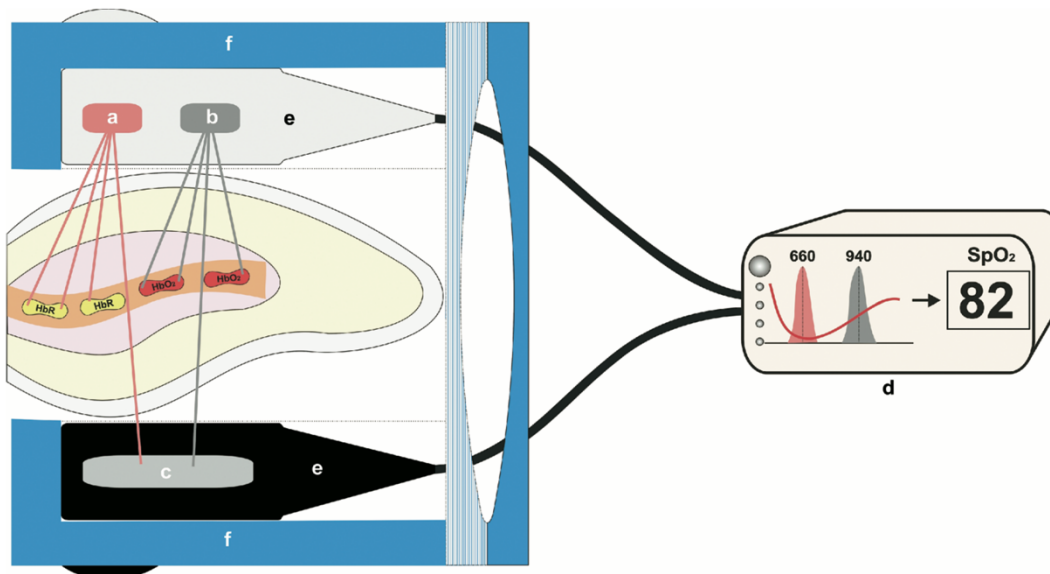
Portanto, os métodos de testes atuais medem indiretamente a vitalidade pulpar porque são baseados numa resposta impulsional nervosa. A circulação vascular não é tida em conta. Conseqüentemente, existem falsos positivos para dentes que faltam temporária ou permanentemente, parcial ou totalmente as suas funções sensoriais, mas que podem ainda possuir uma vascularização intacta.

Os métodos ópticos tais como a oximetria pulsátil dentária (OP) (Radhakrishnan *et al.*, 2002), a fotopletismografia dentária (FPG) (Zenko *et al.*, 2002) ou a fluídometria Doppler a laser (do inglês : *Laser Doppler Flowmetry* ou LDF) medem diretamente a vitalidade pulpar (Emshoff *et al.*, 2004).

Métodos ópticos como ferramentas de diagnóstico da vitalidade pulpar num contexto endodôntico - Revisão sistemática

A oximetria pulsátil avalia a saturação de oxigênio molecular na câmara pulpar do dente. Esta medição requer um sistema adaptado e específico à prática clínica dentária. O dispositivo é constituído por uma fonte de luz e um recetor óptico, que devem ser colocados paralelamente de cada lado do dente (Schnettler *et Wallace*, 1991; Goho, 1999). A figura 1 mostra esquematicamente o princípio de funcionamento desta técnica que se baseia na absorção óptica do tecido quando iluminado por radiação eletromagnética com dois comprimentos de onda diferentes. Um na região espectral do visível, luz vermelha (com comprimento de onda centrado nos 660 nm) e outro na região espectral infravermelha (com comprimento de onda centrado nos 940 nm). A luz com comprimento da onda de 660 nm é absorvida pela hemoglobina desoxigenada (HbR) e a luz com comprimento da onda de 940 nm é absorvida pela hemoglobina oxigenada (HbO₂) presentes no sangue arterial (Gandy, 1995; Calil *et al.*, 2008).

Figura 1- Princípio de funcionamento da oximetria pulsátil no dente. Legenda: a) Fonte de luz vermelha a 660 nm. (b) Fonte de luz infravermelha a 940 nm. (c) Fotodetector. (d) Monitor de oximetria pulsátil. (e) Cabeça com os emissores de luz. (f) Cabeça receptora com o fotodetector. HbO₂ : hemoglobina oxigenada; HbR : hemoglobina desoxigenada; SpO₂ : saturação de oxigênio do sangue arterial.



Nota. “Pulpe vitality testing with a developed universal pulse oximeter probe holder”, de Z. Grabliauskienė, 2021, Medicina 57, n^o2: 101. (<https://doi.org/10.3390/medicina57020101>). Copyright 2024 do autor.

Assim, a oximetria aplica o princípio conhecido como lei de Beer-Lambert. Esta lei estipula que é possível conhecer a concentração de um soluto (hemoglobina) contido num solvente (sangue) através da absorção de um comprimento da onda pelo soluto (Mc Morrow *et al.*, 2006; Schnapp *et al.*, 1990).

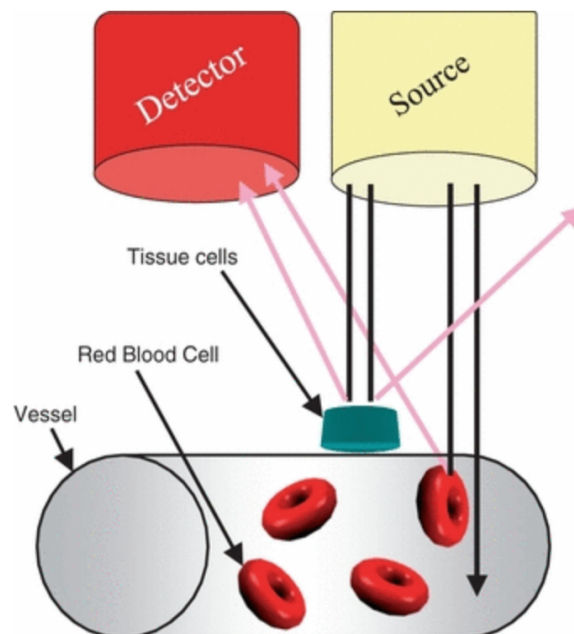
Esta lei refere que a absorvância (A) é proporcional à concentração (C) da solução e ao comprimento da luz transmitido (λ), através da relação:

$$A = \epsilon_{\lambda}CL$$

em que ϵ_{λ} é uma constante de proporcionalidade normalmente designada por coeficiente de extinção que difere para cada comprimento de onda e para cada cromóforo, e L é o comprimento do percurso óptico da radiação pela amostra em análise. No entanto, a luz emitida pela fonte óptica é absorvida pelos dentes vitais durante as diferentes fases do ciclo cardíaco, mas numa amplitude inferior à registada nos dedos, por exemplo. Isto deve-se ao facto que a câmara pulpar estar rodeada por tecidos duros, o que impede qualquer alteração significativa do volume. Para além disso, a oximetria pulsátil permite quantificar a circulação sanguínea através da fotopletiografia (FPG). A FPG fornece o índice de perfusão (IP), que é definido como o rácio entre o fluxo sanguíneo pulsátil e fluxo sanguíneo não pulsátil. É uma boa técnica para avaliar a extensão da circulação sanguínea (Pinto lima *et al.*, 2022).

No caso do LDF, este avalia a vitalidade pulpar através da mediação da velocidade dos glóbulos vermelhos dentro dos capilares sanguíneos na câmara pulpar (Roeykens *et al.*, 2002). A figura 2 mostra esquematicamente o princípio de funcionamento desta técnica.

Figura 2 - Princípio de funcionamento do LDF.



Nota. "Laser Doppler Flowmetry: A review", de H. Jafarzadeh, 2009, *International endodontic journal*, 42, 6, p. 476-490 (10.1111/j.1365-2591.2009.01548.x

Métodos ópticos como ferramentas de diagnóstico da vitalidade pulpar num contexto endodôntico - Revisão sistemática

A luz é emitida por um laser e propagada por uma fibra óptica (ilustrado como “*Source*” na figura 2) até ao dente. A luz é depois refletida com um desvio em frequência pelos glóbulos vermelhos em movimento, e sem desvio em frequência nos tecidos imóveis. A luz refletida pelo objeto (isto é, o dente) é novamente propagada através de uma segunda fibra óptica (ilustrado como “*Detector*” na figura 2) que contém na sua extremidade livre um fotodetector, que produzirá um sinal elétrico proporcional ao sinal óptico detectado, que contém informações sobre o estado do fluxo sanguíneo (Berman *et* Hartwell, 2006). O objetivo desta revisão sistemática é o de comparar a eficácia dos meios de teste ópticos, com os testes convencionais de diagnóstico da vitalidade pulpar. Determinar se a detecção da vitalidade pulpar através de meios ópticos possui maior sensibilidade, permitindo um diagnóstico mais preciso, e conseqüentemente, melhorar o tratamento no paciente com patologia pulpar.

2. METODOLOGIA

2.1 Desenho do estudo

Para elaboração e formulação da seguinte questão clínica deste trabalho: «*Os métodos de diagnóstico ópticos têm maior sensibilidade na detecção da vitalidade pulpar em pacientes adultos do que os métodos de diagnóstico tradicionais?*», foram utilizados os critérios PICO (*Population, Intervention, Comparasion, Outcome*) (Linares-Espinós *et al.*, 2018):

P — *População*: Paciente adulto .

I — *Intervenção*: Métodos de diagnósticos ópticos.

C — *Comparação*: Comparação com métodos de diagnósticos tradicionais.

O — *Resultado*: Melhor sensibilidade.

2.2 Pesquisa bibliográfica e seleção de artigos

A revisão sistemática seguiu as recomendações PRISMA (Page *et al.*, 2021). Foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas seguintes bases de dados digitais de artigos científicos: *PubMed, Cochrane Library, Science Direct*; num espaço temporal compreendido entre 2020 e dezembro de 2023; escrito em idioma inglês e com texto completo disponível. Os termos de pesquisa utilizados foram determinados através dos quatro principais termos MeSH (*Medical Subject heading*): «Diagnostic test», «Diagnostic techniques», «Pulp Vitality», «Endodontic vitality test», e termos livres relacionados com utilização dos métodos ópticos de detecção: «Pulse oximetry», «Photoplethysmography», «Laser Doppler flowmetry », os quais se combinaram com recurso aos operadores booleanos «AND» e «OR». As palavras-chaves estavam presentes no título e/ou no resumo.

Para conseqüente tratamento e análise, os artigos foram importados para o software de gestão de referências *Zotero*TM, que permite a identificação e eliminação das referências duplicadas. Este gestor de referências permite aplicar os critérios de inclusão e exclusão, for forma a seleccionar os artigos finais incluídos neste estudo e remover as publicações duplicadas (neste caso foram, n= 65).

Obtiveram-se 26 artigos elegíveis após análise dos títulos e do resumo. Os critérios de inclusão e exclusão aplicados foram:

Critérios de inclusão: A tipologia dos artigos considerados para este estudo são, ensaios clínicos, estudos de retrospectivos e de *cohort*, estudos transversais, estudos prospectivos,

estudo diagnóstico. Pacientes com suspensão de patologia pulpar, independente do género e estatuto socioeconómico no adulto.

Crítérios de exclusão: Todas as outras tipologias de investigação que não são anunciadas anteriormente, estudos *in-vitro*, teses, revisões sistemáticas, meta-análises, estudos em animais. Paciente com caso de fratura dentária, pacientes com idade inferior a 18 anos. A segunda fase de elegibilidade constitui na leitura integral dos artigos incluídos na primeira fase que serão excluídos pelos critérios definidos anteriormente. Foram eliminados 13 artigos.

2.3 Critérios de elegibilidade para a seleção dos estudos

Tipologia do estudo: Estudo clínico de diagnóstico, com uma amostra superior a 10 pacientes.

Participantes incluídos: Pacientes com idade superior a 18 anos, com indicação de tratamento endodôntico de pelo menos um dente, sem restauração ou cárie extensa, doença não sistémica grave, sem consumo de droga, álcool ou tabaco. Paciente sem patologia pulpar

Pacientes excluídos: Pacientes com restauração ou cárie extensa, doença sistémica grave, consumo de droga, álcool ou tabaco.

Tipo de intervenção: Testes de sensibilidade ao frio, ao calor e elétrico. Também a avaliação da vitalidade pulpar com oximetria pulsátil do dente com indicação de TENC e de um dente saudável no mesmo paciente.

Extração de dados: A tamanho da análise *cohort* de pacientes (isto é, um grupo de indivíduos incluídos num estudo científico, com características comuns), a idade, o tipo de dente, a condição de saúde e os resultados dos diferentes testes de sensibilidade e vitalidade com a valor de referência.

2.4 Riscos de viés

Recorreu-se a ferramenta da Cochrane - *Cochrane Risk Of Bias Tool* - QUADAS-2, para análise de viés em estudos diagnóstico (Whiting *et al.*, 2011). Esta ferramenta usa 4 domínios chave:

1. **Seleção do paciente (Patient selection)**, permite avaliação da correta inclusão dos pacientes elegíveis no estudo. Detetar exclusão inapropriada de paciente por causa de «diagnóstico difícil» que conduzem a um resultado otimista.
2. **Índice de teste (Index test)**, para avaliar a subjetividade dos testes, a ordem em que são realizados e interpretados.
3. **Standard de referência (Reference standard)**, para avaliar a análise dos resultados são ou não tendenciosa em relação aos conhecimentos prévios (como os valores da referência).
4. **Fluidez e Tempo (Flow and timing)**, para avaliar se os resultados dos testes de index e do padrão de referência são correlacionados para os mesmos doentes ao mesmo tempo.

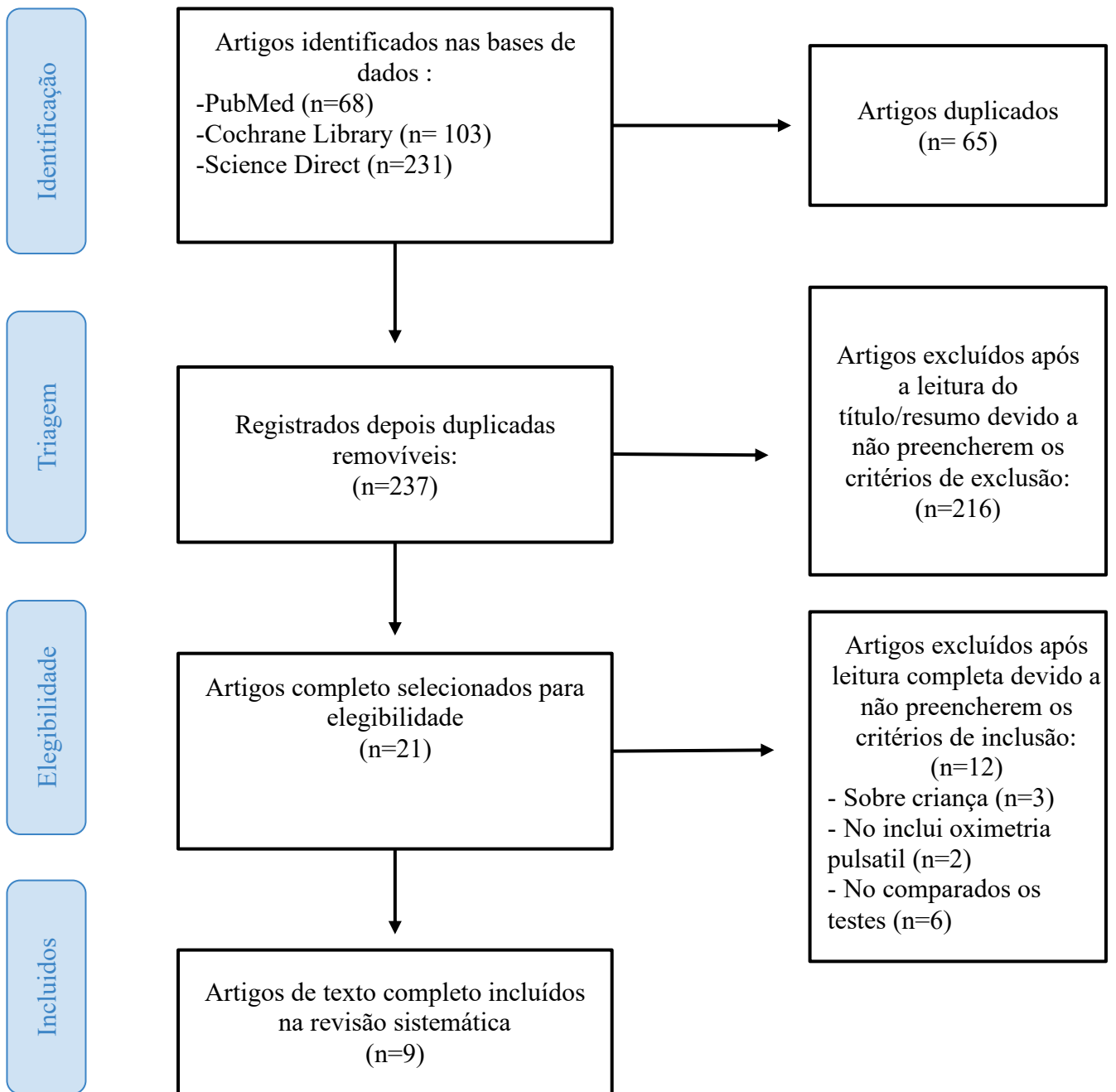
Cada um dos parâmetros é classificado o risco de viés com alto, baixo ou incerto (Figura 3).

Figura 3 - Avaliação do risco de viés em ensaios diagnóstico

	Risco de viés				Preocupação com aplicabilidade		
	Patient selection	Index test	Reference standard	Flow and timing	Patient selection	Index test	Reference standard
Anusha <i>et al</i>	●	●	●	●	●	●	●
Calil <i>et al</i>	●	●	●	●	●	●	●
Dalstmalchi <i>et al</i>	●	●	●	●	●	●	●
Gopikrishna <i>et al</i>	●	●	●	●	●	●	●
Kong <i>et al</i>	●	●	●	●	●	●	●
Setzer <i>et al</i>	●	●	●	●	●	●	●
Janani <i>et al</i> (1)	●	●	●	●	●	●	●
Grabliauskiene <i>et al</i>	●	●	●	●	●	●	●
Janani <i>et al</i> (2)	●	●	●	●	●	●	●

● Baixo	● Pouco Claro	● Alto
---------	---------------	--------

Figura 4- Fluxograma do processo de seleção dos estudos

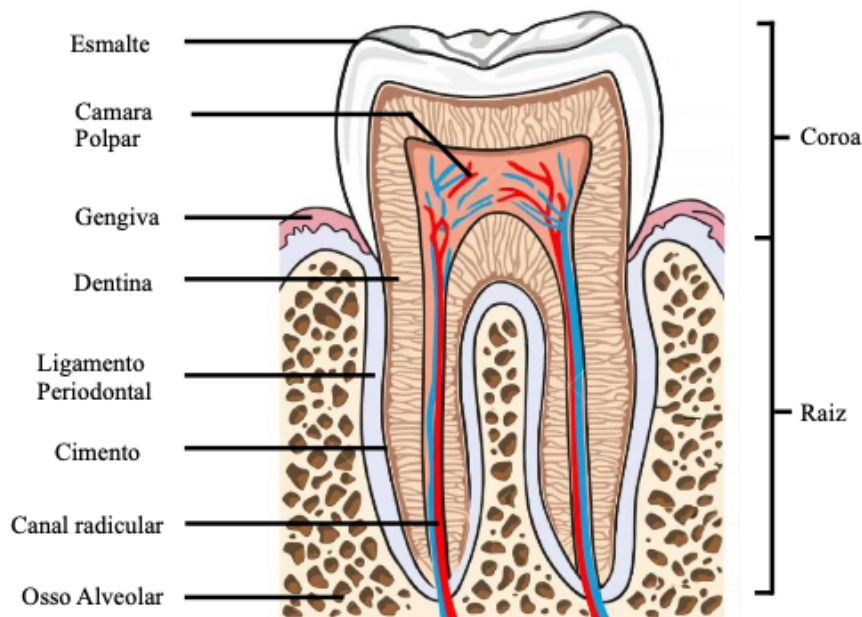


3. DESENVOLVIMENTO

3.1 O complexo pulpo-dentinário

O órgão dentário é composto por 4 tecidos, que são, a polpa, a dentina, o esmalte e o cimento (ver figura 5). A dentina e polpa compartilham uma origem mesenquimatosa comum. Elas também possuem relações histológicas, anatômicas e funcionais. O complexo pulpo-dentinário é responsável pela resposta do organismo às agressões da cárie dentária.

Figura 5: Esquema da anatomia dentária



3.1.1 A polpa dentária

A polpa é a estrutura tecidual mais interna do dente. Situa-se na câmara pulpar ao nível coronário e nos canais ao nível radicular. É constituída por tecido conjuntivo não mineralizado contendo elementos vasculares, nervosos e celulares. As suas principais funções incluem a formação de dentina pelas células odontoblásticas, mas também pelas células indiferenciadas. Além disso, o tecido nervoso transmite informações sensoriais para o sistema nervoso central. As células envolvidas em reações imunitárias e inflamatórias são transportadas pelo sistema vascular intra-pulpar e respondem às agressões .

Do ponto de vista histológico, a polpa é organizada em 4 camadas, da mais externa para a mais interna (smith *et al*, 2003):

- A zona odontoblástica, que contém o corpo celular dos odontoblastos e cujas projeções citoplasmáticas penetram nos túbulos dentinários. Essas células se comunicam entre si através de junções apertadas, permitindo o processo de cicatrização pulpar.
- A zona acelular de Weil, constituída pelo plexo vascular e pelas fibras nervosas.
- A zona de Höhl, rica em células imunitárias que desempenham o papel de proteção. Há também células com potencial para se diferenciar em odontoblastos para responder a um processo patológico.
- A zona central contém muitas células envolvidas na resposta inflamatória e imunológica. Também são encontradas células envolvidas na cicatrização pulpar.

3.1.2 A dentina

A dentina é um tecido conjuntivo mineralizado não vascularizado e não inervado, coberto pelo esmalte na coroa e pelo cimento na parte radicular. A dentina é composta por 70% de hidroxiapatita, 20% de matéria orgânica e 10% de água. A dentina representa a maior parte do volume do dente. O principal papel da dentina é proteger a polpa contra agressões cariosas, químicas e mecânicas. Além disso, sua relação estreita com a polpa através dos túbulos dentinários permite estimular a dentinogênese.

Histologicamente, a dentina é dividida em dois tipos de dentinas que diferem no seu grau de mineralização. O manto dentário está na periferia, sendo o menos mineralizado e com uma concentração menor de túbulos. No centro está a dentina circumpulpar, que engloba a dentina intertubular e intertubular. Existem várias dentinas, dependendo do estágio de desenvolvimento do órgão dentário ou da situação fisiopatológica (Simon *et al*, 2008):

- A dentina primária é formada pelos odontoblastos até a erupção do dente na cavidade oral.
- A dentina secundária é observada uma vez que o dente está totalmente formado. É subsequente à dentina primária e é produzida ao longo da vida. Ela se forma em direção ao espaço pulpar à custa do volume deste.
- A dentina terciária é secretada pelos odontoblastos após uma agressão externa à dentina (cárie, erosão, abrasão, etc.). Dependendo da gravidade da lesão, a dentina terciária pode ser reacional, se a agressão for moderada, ou reparadora, se a agressão for mais severa. A dentina reacional é estruturalmente semelhante à

dentina secundária, com uma alta concentração de túbulos dentinários ; a dentina reparadora não contém túbulos dentinários.

3.1.3 Reações do complexo pulpo-dentinário contra a agressão cariosa

Uma infecção por cárie produz uma atividade microbiana complexa, resultando na síntese de enzimas proteolíticas e na produção de ácido, que, por ação química, desmineralizam as estruturas duras do dente. No caso de uma destruição significativa do tecido duro, a polpa será exposta, desencadeando uma cascata de reações inflamatórias e imunológicas (Komabavashi *et al.*). A polpa é um tecido conjuntivo ricamente vascularizado e innervado. Portanto, a polpa reage a uma agressão externa por meio de um processo inflamatório chamado “pulpite”. A inflamação pulpar acompanha os sinais clássicos de inflamação, a saber:

- Rubor, que na polpa corresponde a um aumento da permeabilidade vascular, a diapedese.
- Calor
- Inchaço, que representado por um edema pulpar
- Dor, que é causada pela compressão das terminações nervosas presentes na polpa devido ao edema, de acordo com a teoria hidrodinâmica de Brännström (Brännström).

O aumento da permeabilidade vascular iniciado pela inflamação permite que as células imunitárias cheguem diretamente ao local da infecção (Lin *et al.*, 2020). Assim, distinguem-se dois estados pulpares consequentes a uma inflamação da polpa, dependendo de sua gravidade. Se o estado inflamatório for reversível, é chamado pulpite reversível; e se for irreversível, é chamado pulpite irreversível. Atualmente, o diagnóstico de pulpite reversível é feito por uma dor de intensidade leve a moderada. Os testes de sensibilidade pulpar aumentam a resposta dolorosa sem persistência da dor e o teste de percussão negativo. Nessa situação, a opção mais conservadora é escolhida.

A pulpite irreversível é diagnosticada por uma dor espontânea, intensa e de longa duração. Os testes de sensibilidade pulpar aumentam a resposta dolorosa com persistência da dor e o teste de percussão pode ser positivo. Nessa situação, a pulpectomia é preferida em vez de um tratamento conservador.

3.2 Métodos ópticos de diagnóstico

Para avaliar a vitalidade pulpar são realizados testes ópticos, não-invasivos, que não induzem qualquer alteração no tecido pulpar nem provocam qualquer dor ao paciente. Destes, distinguimos os dois seguintes:

3.2.1 Oximetria pulsátil

A oximetria pulsátil é um exame não invasivo que permite quantificar a saturação de oxigênio da hemoglobina nos capilares sanguíneos. O aparelho de mediação, o oxímetro pulsátil, mede a saturação de oxigênio pulsada (SpO_2), que é muito próxima da saturação arterial de oxigênio (SaO_2 , medida por amostragem sanguínea arterial). Assim, a taxa de saturação de oxigênio no sangue é calculada pela seguinte relação:

$$SpO_2 = \frac{CHbO_2}{CHb}$$

Onde $CHbO_2$ é a concentração de oxihemoglobina e CHb é a concentração total no sangue.

O oxímetro mede a absorbância que corresponde à quantidade de luz absorvida pelo tecido ou cromóforo para um determinado comprimento de onda. A absorbância da hemoglobina pode ser relacionada com sua concentração no sangue através da lei de Beer-Lambert, como foi referido na secção anterior.

A oxihemoglobina, quando está saturada de oxigênio, tende a absorver mais luz de comprimento de onda infravermelha e muito pouca luz de comprimento de onda vermelha. Por outro lado, a desoxihemoglobina, que contém menos oxigênio, absorve principalmente a luz de comprimento de onda vermelha e pouca luz de comprimento de onda infravermelha (Mc Morrow *et al.*, 2006; Schnapp *et al.*, 1990).

O dispositivo é composto por uma fonte óptica que incorpora dois díodos semicondutores emissores de luz (emissores do tipo LED, acrónimo inglês de *Light Emitting Diode*), cada um emitindo um comprimento de onda central diferente ($\lambda_1 = 660$ nm e $\lambda_2 = 940$ nm), e um fotodetector. A fonte óptica e o fotodetector devem ser colocados fisicamente de forma paralela em ambos os lados do dente a ser medido e isolados o máximo possível de ambiente luminoso externo para evitar qualquer interferência óptica no sinal detectado.

3.2.2 Fotopletismografia

O princípio da FPG convencional é baseado na medição indireta das variações de volume dos tecidos pela variação na absorção de raios de luz através dos tecidos. Assim, a sonda óptica gera dois feixes de luz incidente, um na faixa vermelha e outro no infravermelho, correspondendo respectivamente às bandas espectrais de absorção da desoxihemoglobina e da oxihemoglobina, cujas intensidades transmitidas são convertidas em corrente eléctrica através de um fotodetector após atravessar os tecidos (Njboer *et al.*, 1981). A curva FPG é obtida a partir das variações da luz infravermelha. No contexto odontológico, a curva FPG é obtida com o uso do oxímetro pulsátil, que emite dois feixes de comprimento de onda correspondentes ao vermelho e infravermelho, juntamente com a mediação do nível de saturação de oxigênio (Zenko *et al.*, 2002).

**Métodos ópticos como ferramentas de diagnóstico da vitalidade pulpar num contexto endodôntico -
Revisão sistemática**

4. RESULTADOS DOS ESTUDOS SELECIONADOS

Os investigadores, Anusha *et al.*, (2017), realizaram um estudo diagnóstico usando oximetria pulsátil com o objetivo de analisar o nível de saturação de oxigênio em diferentes dentes com a polpa inflamada. Os pacientes foram voluntários com idades entre 20 e 40 anos, cujos critérios de inclusão foram: dentes anteriores, pacientes com dente saudável e estado pulpar normal, paciente com tratamento endodôntico, paciente com dente cariado. Os pacientes foram excluídos do estudo se apresentassem algum dos seguintes critérios: dente traumatizado, dente com discromia, paciente com doença periodontal, paciente com tratamento ortodôntico/ coroa dentária.

A amostra incluiu 100 pacientes, distribuídos em 5 grupos de 20 pacientes. Os testes de frio e calor foram realizados em todos os dentes testados. Em seguida, uma análise radiográfica de cada dente testado foi realizada para observar possíveis modificações pulpares, do ligamento periodontal ou de mudança periapical. A análise de estado pulpar foi realizada de acordo com as seguintes condições: Controle positivo (CP), que corresponde a polpa saudável (SP); Pulpite reversível (PR); Pulpite irreversível (PI); Necrose pulpar (NP) e o controle negativo (CN) com tratamento endodôntico.

O nível de saturação de oxigênio foi medido durante 30 segundos, e depois 30 minutos em relação ao tempo da primeira leitura. A medida da saturação de oxigênio também foi realizada no dedo indicador de cada paciente como controle da precisão do dispositivo.

Os resultados mostram médias de saturação de oxigênio diferentes para os grupos experimentais, PR: 85.45%; PI: 81.60%; NP: 70.70%; CP: 94.60% e CN: 0%. Os grupos experimentais eram compostos por 52 homens e 48 mulheres no total, as medidas experimentais foram realizadas em 30 incisivos centrais superiores, 20 incisivos laterais superiores, 10 caninos superiores, 20 incisivos centrais inferiores, 5 incisivos laterais inferiores e 15 caninos inferiores.

O coeficiente de correlação de Pearson (valor de r) revela uma correlação moderada para os grupos CP e PR, e uma correlação fraca para os grupos PI e NP. Além disso, o teste de variância (valor de p) mostrou uma diferença estatisticamente significativa entre os níveis de saturação de oxigênio nos grupos experimentais e no grupo de controle (ver tabela 1). Embora, as limitações destacadas pelos autores neste estudo

mostram uma restrição do dispositivo aos dentes anteriores, devido à sua anatomia, tamanho e forma, concluíram que a oximetria é uma ferramenta eficaz para a avaliação da vitalidade pulpar. Em particular, nos casos de patologia pulpar necrótica, onde os testes térmicos forneceram falsos positivos (Anusha *et al.*, 2017).

Um estudo diagnóstico *in-vivo* foi conduzido por Calil *et al.*, (2008), em 17 homens e mulheres com idades entre 27 e 38 anos, totalizando 32 incisivos centrais superiores e 32 caninos analisados. O objetivo deste estudo, é o mesmo que o estudo anteriormente descrito, e que consistiu em avaliar o uso de um oxímetro pulsátil como teste de vitalidade pulpar nos dentes anteriores, comparando nos mesmos pacientes os níveis de saturação de oxigênio no dedo indicador e nos incisivos centrais e caninos superiores, sem inflamação pulpar clinicamente detectável.

Os dentes foram incluídos no estudo se apresentassem uma coroa clinicamente intacta ou uma restauração com diâmetro inferior a 2 milímetros a uma distância de área de teste de vitalidade. Os pacientes foram excluídos se apresentassem dor no dente, discromia coronária, presença de cárie, histórico de trauma dentário, sinais de inflamação pulpar, mobilidade dentária ou doença periodontal avançada. O grupo controle negativo continha 10 pacientes de outro grupo com dentes submetidos a tratamento endodôntico.

Antes das medidas por oximetria pulsátil, os dentes foram submetidos a um teste de frio. Dos 32 incisivos centrais superiores e 32 caninos superiores, 4 incisivos foram excluídos. Para esses 4 dentes, nenhuma medida de saturação de oxigênio foi possível, apesar de uma resposta positiva ao teste de frio. As medições de saturação realizadas nos dedos indicadores dos pacientes e nos seus dentes foram feitas pelo mesmo sensor para evitar resultados diferentes. No entanto, o sinal impulsional luminoso foi amplificado em 2.5 vezes (limite do dispositivo) durante a medição no dente para aumentar a sensibilidade e capturar um sinal elétrico razoável. A amplificação do sinal da oximetria de pulso reduz a relação sinal/ruído (SNR - *Signal to Noise Ratio*) porque a amplificação do sinal amplifica todos os ruídos presentes no sinal. As fontes de ruído podem ser extrínsecas ao dispositivo, tais como a luz ambiente ou os movimentos do paciente. Consequentemente, a amplificação aplica-se também aos ruídos exteriores, o que aumenta a influência da luz ambiente. Isto significa que o oxímetro de pulso se torna não só mais sensível aos sinais do sensor, mas também às influências indesejáveis, o que pode diminuir a precisão das medições. Técnicas como o filtro do

sinal, o isolamento do meio ambiente ou o desenvolvimento de algoritmos de processamento do sinal podem ser implementadas para limitar estes efeitos.

Os resultados mostram um nível médio de saturação de O₂ de 95% para os dedos indicadores dos pacientes (n=16), bem como uma média de 91.5% para os dentes 11 (n=14); 92% para os dentes 21 (n=14); 90.5% para os dentes 13 (n=16); 91% para os dentes 23 (n=16) e 0% para o grupo controle negativo. Além disso, o valor médio do nível de saturação de O₂ é significativamente diferente (ver tabela 1) dos valores médios obtidos para os incisivos e caninos superiores (todos os $p < 0.002$). O coeficiente de correlação de Pearson revela que todas as medidas do nível de saturação de O₂ para os dedos indicadores não estão correlacionadas com valores de SaO₂ medidos para os dentes. Este estudo demonstra bem o potencial da oximetria de pulsátil nos incisivos centrais e nos caninos maxilares (Calil *et al.*, 2008).

A construção de um protótipo de oxímetro pulsátil específico para uso em odontologia foi o objetivo do estudo experimental de Dastmalchi *et al.*, (2012). A avaliação de sua eficácia foi realizada através da comparação com um medidor elétrico de polpa, e com testes térmicos convencionais, incluindo um spray frio e um cone de gutta-percha aquecido para avaliar a vitalidade pulpar. O estudo foi realizado numa *cohort* de 24 pacientes com idades compreendidas entre os 18 e 50 anos. As medidas foram realizadas em 24 pré-molares monocanal (confirmados por duas radiográficas periapicais). Todos os dentes selecionados necessitavam de tratamento endodôntico por razões protéticas. Os dentes incluídos no estudo apresentavam ápice maduro, sem cárie ou restauração extensa, e sem sinais de necrose pulpar. Pacientes com doenças sistêmicas, uso de drogas ou tabagismo foram excluídos do estudo.

Para cada paciente, foram realizados 4 testes nos dentes selecionados: teste de frio, teste de calor, teste elétrico e medida de SaO₂ por oximetria pulsátil. Os dentes contralaterais foram usados como controle negativo. Em cada dente testado, foi realizado um tratamento endodôntico no dia seguinte aos testes experimentais. Após a realização da cavidade de acesso, o estado pulpar foi registrado por inspeção visual direta, considerado a “regra de ouro” (isto é, o *gold-standard*) deste estudo, e se por outro lado, o estado pulpar não puder ser determinado, o dente é excluído do estudo.

Os resultados dos testes experimentais foram comparados com o *gold-standard*. Nenhuma resposta falso-positiva foi identificada para oximetria pulsátil. Contudo, respostas falsas-positivas foram identificadas para todos os outros testes.

Todos os quatro testes mostraram respostas falsas-negativas. Os testes elétricos, de frio, de calor e a medida de SaO₂ foram comparados ao *gold-standard*. O teste estatístico Kappa de Cohen mostrou uma concordância fraca entre os testes elétricos ($p = 0.371$), de frio ($p = 0.341$) e de calor ($p = 0.459$) com o *gold-standard*, o que significa que esses testes não são confiáveis para o diagnóstico da vitalidade pulpar. No entanto, o coeficiente Kappa mostrou uma concordância elevada para o teste de oximetria pulsátil. Ao contrário, a sensibilidade mais alta foi revelada para a oximetria pulsátil e a mais baixa para o teste de frio.

Os resultados foram conclusivos sobre uma maior fiabilidade da oximetria pulsátil em comparação com os testes convencionais. No entanto, os autores salientam que além dos fatores intrínsecos mencionados por Anusha *et al.*, 2017, que existem fatores extrínsecos limitativos, como sejam, a exposição à lâmpada de arco de xénon ou aos movimentos dos pacientes (Dastmalchie *et al.*, 2012).

Em 2007, Gopikrishna *et al.*, observaram, com base em evidências de estudos anteriores, que os oxímetros pulsáteis disponíveis comercialmente não são confiáveis no estado atual. O objetivo destes autores foi inicialmente desenvolver e fabricar um sensor de oximetria pulsátil (SOP) dentário com o intuito de facilitar a utilização de vários SOP disponíveis comercialmente para avaliação da vitalidade em dentes permanentes, e depois então comparar a eficácia da sonda construída com os testes convencionais (elétrico e térmico), calculando a sensibilidade, especificidade e os valores preditivos positivo e negativo.

A amostra consistiu em 80 dentes (incisivos, caninos pré-molares) mono-radulares que necessitavam de tratamento de canal (um dente por paciente). Os critérios de inclusão para a constituição do grupo experimental foram pacientes com um dente mono-radicular necessitando de tratamento endodôntico por razões protéticas, e paciente com história de cárie profunda clinicamente e radiograficamente apresentando pulpíte irreversível. Para cada dente, os 4 testes são realizados, usando como controle negativo o dente contra-lateral.

Para o teste elétrico, se a intensidade da corrente elétrica para estimular o dente testado for a mesma que para o dente controle, então a resposta registrada é positiva. Caso esta seja maior do que o dente controle, a resposta registrada é então negativa. A ausência de resposta também foi registrada como negativa.

A medição da SaO₂ foi realizada com os sistemas comerciais *Nellcor OxiMax 550 plus oximeter* e *Nellcor OxiMax Dura-YD-YS multisite oxygen sensor*. O suporte do sensor do oxímetro pulsátil foi projetado e fabricado pela equipa do estudo. Os valores de cada dente foram medidos durante 30 segundos. Um valor positivo significa um registo do nível de saturação de O₂ entre 75 e 85%, e abaixo de 75% de SaO₂, o resultado é considerado como negativo. Um estudo separado, para determinar o intervalo normal para a saturação de oxigénio, comparando a SaO₂ dos dados indicadores com a SaO₂ medida pelo dispositivo desenvolvido, foi realizado anteriormente pela mesma equipa.

O teste de frio foi realizado para cada dente, duas vezes, com um intervalo de 2 minutos entre cada medição. A ausência de resposta após 15 segundos foi registrada como negativa. Para completar a análise pulpar, a câmara pulpar dos 80 dentes experimentais foi aberta. Desta análise pulpar foi registado como vital ou necrótica através de visualização direta. Dos 80 dentes testados, 42 tinham polpa necrótica (sem sangramento pulpar) e 38 tinham polpa vital (presença de sangramento pulpar).

Os resultados mostram que o teste de frio identificou 34 dentes necróticos sobre 42 dentes necróticos registrados pela análise visual, sendo que 8 dentes com polpa necrótica tiveram uma resposta positiva ao frio. 35 dentes vitais foram identificados pelo teste de frio, sendo que 3 dentes com polpa vital tiveram uma resposta negativa. O teste de oximetria registrou todos os 42 dentes com polpa necrótica e 36 dentes registrados com polpa vital. Dois dentes com polpa vital não deram resposta ao teste de oximetria pulsátil. O teste elétrico registrou 30 dentes com polpa necrótica, sendo que 12 tiveram uma resposta positiva, e 35 dentes com polpa vital, sendo que 3 tiveram uma resposta negativa ao teste.

As taxas de precisão fornecidas pela análise de especificidade e sensibilidade foram de 68% para o teste de frio, 81% para o teste elétrico e 97.5% para o teste de oximetria pulsátil. Deste modo, a oximetria pulsátil apresenta um potencial de detecção da presença ou ausência de patologia pulpar significativamente superior à capacidade de detecção dos testes de diagnóstico convencionais. Isto permite concluir que a oximetria pulsátil, através da medição do nível de saturação de oxigénio da polpa dentária é uma ferramenta eficaz na determinação de pulpopatias (Gopikrishna *et al.*, 2007).

Outro método potencial de diagnóstico foi estudado por Kong *et al.* (2016), e consiste em analisar a vitalidade pulpar através da análise do valor de base do índice de perfusão

(IP) utilizando oximetria pulsátil em adultos voluntários, sem lesões pulpares. O IP é um bom indicador da perfusão periférica no órgão dentário. Segundo estes autores, pode ser utilizado como meio auxiliar à oximetria pulsátil, ou como ferramenta de diagnóstico isolada na avaliação da vitalidade pulpar. O estudo envolve 15 voluntários adultos com idades compreendidas entre 24 e 40 anos. Todos os pacientes apresentavam incisivos centrais maxilares sem lesões pulpares, com ausência confirmada de histórico de trauma, tratamento endodôntico e/ou restaurador. Foram adicionadas análises radiográficas para confirmar a ausência de reabsorção externa/interna do canal; a ausência de fratura da raiz e a ausência de calcificação intracanal.

A análise de oximetria pulsátil é realizada com um sensor de um oxímetro comercial (MP-570 T, MEKICS Co), modificado mecanicamente para manter a posição do incisivo entre os LEDs emissores e o fotodetector. Inicialmente, o sensor é colocado no dedo indicador de cada paciente. Em seguida, o dispositivo é posicionado nos incisivos maxilares direito e esquerdo. Após a confirmação de estabilização da forma de onda do FPG, o nível de saturação em oxigénio é medido o índice de perfusão (IP) calculado para o dedo indicador e os incisivos maxilares.

O teste elétrico foi também realizado em todos os dentes experimentais. Se a corrente elétrica induzida provoca uma resposta nervosa, o resultado é positivo. Se não houver resposta, o resultado é negativo. O teste ao frio baseou-se no mesmo princípio de análise, isto é, se o estímulo provoca uma resposta nervosa, o resultado é positivo. Na ausência de resposta o resultado é negativo.

Para avaliar se o oxímetro pulsátil produz o mesmo modelo de FPG e comparar as diferenças de FPG entre a polpa vital e não vital, o dispositivo foi colocado em 2 incisivos centrais maxilares de um paciente que tinha histórico de tratamento endodôntico. A saturação em oxigénio e o valor de IP dos 2 incisivos foram obtidos após controlo por 1 minuto.

Os resultados mostraram uma forma de onda de FPG estável pela análise dos incisivos maxilares direito e esquerdo de cada paciente do grupo experimental. Para os dentes que receberam tratamento canal, a forma de onda de FPG obtida não foi estável, devido a ausência de circulação sanguínea. A saturação em oxigénio não pôde ser medida ou variou de 80 a 98% devido à contaminação por artefactos durante a colocação do sensor do oxímetro. O IP também não foi medido ou variou de 0.1 a

0.8%. Apesar disto, a FPG foi obtida de forma estável após o sistema ser colocado nos incisivos vitais. Ao contrário do incisivo obturado, a saturação de oxigênio foi medida de forma estável numa faixa de 98 a 99%. Da mesma forma, o IP foi medido de forma estável numa faixa de 0.3 a 0.4%.

Isto mostra que o IP de um dente vital é menor do que o IP de um local ricamente vascularizado, como um dedo. Assim, variações sensíveis desse IP podem fornecer uma indicação confiável da presença de fluxo sanguíneo no dente. No entanto, foi revelado pelos autores que a presença de um produto anestésico contendo um vasoconstritor pode influenciar o índice de perfusão. Os autores realizaram análises do nível basal do índice de perfusão em pacientes jovens e sem antecedentes de patologia. Seria interessante efetuar essas mesmas medições em pacientes fumadores ou que apresentem patologias sistêmicas com repercussões na cavidade bucal, como, por exemplo, a diabetes (Kong et al., 2016).

O estudo experimental de Setzer *et al.*, 2012, realizado com 60 pacientes, 28 mulheres e 32 homens, com idades entre 25 e 55 anos, teve como objectivo demonstrar a correlação entre o nível de oxigenação pulpar e o diagnóstico de PR (pulpite reversível), PI (pulpite irreversível) e PN (polpa normal). Os pacientes incluídos no estudo apresentavam ou sensibilidade à dor nos pré-molares e molares, tinham uma coroa intacta com no máximo uma restauração de 2 milímetros de diâmetro distante da zona testada, tinham um dente saudável com estado pulpar normal, que serviu de controle positivo e um dente tratado endodonticamente, sem coroa protética total, que serviu de controle negativo. Os critérios de exclusão foram: pacientes com alterações dentárias, pacientes com histórico de trauma dentário ou mudança de cor devido a trauma, presença de cavidade no dente, pacientes com doença periodontal (bolsa > 3mm, mobilidade dentária ou edema gengival), pacientes com coroa protética total ou tratamento ortodôntico.

Os dentes foram distribuídos em 3 grupos experimentais de acordo com a presença ou ausência das seguintes características: (1) Polpa saudável: sem histórico de dor, resposta normal ao frio e sem sinais radiográficos de patologia pulpar; (2) Pulpite reversível: sem histórico de dor, resposta ao frio aguda e de curta duração, causalidade de PR (cárie, defeito cervical); (3) Pulpite irreversível: histórico de dor severa e espontânea, e dor intensificada pelo calor. Os diagnósticos iniciais foram realizados pelo mesmo operador com base em exame clínico (profundidade de sondagem,

presença de sangramento, cavidade, defeitos cervicais, sensibilidade à palpação e percussão), e exame radiográfico periapical para verificar a presença ou ausência de reabsorção da câmara pulpar ou do sistema de canais radiculares, bem como a presença ou ausência de fratura do processo alveolar ou espessamento do ligamento periodontal.

Os testes térmicos de frio foram aplicados em todos os dentes experimentais, e os testes de calor foram realizados apenas se os pacientes indicassem histórico de dor ao calor. O oxímetro pulsátil (sistema Partner, São Paulo, Brasil) foi usado para medir os níveis de saturação nos dedos indicadores de cada paciente por forma a confirmar o bom funcionamento do dispositivo, e nos dentes de cada participante. A intensidade da luz foi reduzida no dente, mas o nível de sensibilidade da unidade pulsátil foi aumentado. Assim, o sinal pulsátil foi multiplicado por um fator de 2.5, o que corresponde a um valor normalmente utilizado nas piores condições de saturação de oxigênio nos dedos. As medidas da saturação de oxigênio foram realizadas em triplicado em 3 dentes selecionados de cada paciente. Foram testados um total de 180 dentes.

Os resultados mostraram uma saturação média de oxigênio para os 3 grupos experimentais e os grupos de controle da seguinte forma: PR : 87.4% ; PI : 83.1% ; NP : 74.6% ; dentes com tratamento endodôntico : 0% ; Polpa saudável : 92.2%. A saturação média de oxigênio medida nos dados indicadores, foi de 96.0%. O teste de análise de variância mostrou diferenças significativas entre os níveis de %SaO₂ nos grupos experimentais e nos grupos de controle negativo e positivo (com $p < 0.0001$). Todos os dentes com PR, PI e NP apresentaram níveis de oxigenação mais baixos do que os dentes saudáveis. O teste *t*-Student mostrou uma diferença estatisticamente significativa entre os níveis de oxigenação dos dados e as medidas de controle positivo nos dentes saudáveis (ver tabela 1). Assim, as diferenças estatisticamente significativas e os intervalos de valores da oxigenação pulpar nos diferentes grupos sugerem que a oximetria pulsátil é melhor. No entanto, os mesmos autores recomendam um exame histológico para verificar definitivamente as correlações entre a oxigenação da polpa e o estado pulpar. Portanto, sugerem a utilização da oximetria pulsátil como ferramenta complementar associada ao exame clínico e aos testes de sensibilidade convencionais (Setzer *et al.*, 2012).

Num primeiro estudo *in-vivo* conduzido por Jenani *et al.*, 2020(1) e realizado em 37 dentes mono-canal, teve como objetivo avaliar a precisão diagnóstico de um

oxímetro pulsátil odontológico com um suporte de sensor personalizado (o objetivo destes autores foi o de obter uma precisão de medição mais elevada). Usaram também, testes térmicos e elétricos para a avaliação da condição pulpar e para a avaliação da saturação de oxigênio em dentes saudáveis, dentes não vitais e dentes com pulpite irreversível.

Um total de 37 dentes mono-canal foram incluídos neste estudo *in-vivo*. Incisivos, caninos e pré-molares mandibulares necessitando de tratamento endodôntico foram incluídos no grupo experimental. Dentes traumatizados, dentes com histórico de lesões cariosas profundas e alterações clínicas e radiográficas indicativas de pulpite foram também incluídas no estudo. Pacientes com doenças sistêmica ou uso de drogas, incluindo analgésicos, narcóticos, tranquilizantes, sedativos e álcool foram excluídos do estudo.

Os testes experimentais foram realizados por 3 operadores em provas cegas. Para cada paciente, o histórico clínico e o exame radiográfico foram realizados pelo primeiro operador. O segundo operador realizou os testes convencionais de sensibilidade pulpar, teste de calor, teste de frio e teste elétrico. O terceiro operador realizou o teste de vitalidade pulpar com um oxímetro pulsátil (modelo Nellcor H-600 Healthcare Group LP, Pleasanton, CA). O suporte de oxímetro foi fabricado através de impressão 3D de modo a se adaptar com mais precisão à anatomia das coroas dentárias, permitindo que os emissores de luz e o fotodetector estivessem paralelos. Uma medida de saturação de oxigênio nos dados indicadores de cada paciente foi realizada, servindo como referência para comparar as leituras obtidas nos dentes. Após o teste de vitalidade, uma cavidade de acesso foi preparada em todos os dentes experimentais. O estado pulpar pôde ser determinado pela inspeção visual direta, pela presença ou ausência de sangramento do canal radicular. O sangramento foi considerado vital e ausência de sangramento como não vital. O teste visual foi considerado a referência neste estudo (*gold-standard*).

Dos 37 dentes incluídos neste estudo, 7 tinham sofrido trauma. A leitura mostrou que a polpa permaneceu vital para esses dentes. Estes pacientes foram acompanhados durante 3 a 6 meses, após o teste de sensibilidade pulpar mostrar uma resposta vital. Dos 30 dentes restantes, 22 eram não-vitais e 8 dentes tinham pulpite irreversível.

Os resultados mostraram uma precisão global máxima para o teste de oximetria de 100%, enquanto a precisão global mais baixa foi para o teste elétrico (média da especificidade e sensibilidade foi 45%), o que traduz um valor preditivo na detecção

das patologias pulpares, relativamente baixo. Os níveis de saturação de O₂ registrados foram mais baixos para todos os dentes testados do que os níveis de saturação de O₂ registrados nos dedos indicadores. Isso pode tal vez ser explicado pelo efeito de espalhamento da luz incidente através do esmalte e da dentina. Os dentes não vitais registraram o menor valor de SaO₂. A análise de variância mostrou uma diferença estatisticamente significativa entre todos os grupos (com $p = 0.0005$). Além disto, foi usado o teste Post Hoc de Tukey que mostrou uma diferença estatisticamente significativa entre os dentes não vitais ($p = 0.0005$) e o grupo controle ($p = 0.01$), e para os dentes vitais com pulpíte irreversível ($p = 0.01$). Os resultados experimentais permitiram concluir que a utilização de um suporte dedicado para oxímetro permite um posicionamento na superfície dentária melhor. Isto permitiu avaliar o estado real da polpa, originando uma interpretação precisa dos resultados. Especialmente para os dentes permanentes recentemente traumatizados, onde a parestesia temporária dos nervos reduz a eficácia dos testes de sensibilidade convencionais (Jenani *et al.*, 2020).

O segundo estudo diagnóstico observacional prospectivo implementado por Jenani *et al.*(2) em 2020, teve como objetivo conceber e fabricar um suporte melhorado para o sensor de um oxímetro pulsátil. A experiência foi realizada em 79 dentes monoradiculares necessitando de tratamento endodôntico por a razões protéticas ou lesões cáries profundas. Pacientes com doenças sistêmicas, incapacidade de responder aos testes de sensibilidade pulpar (deficiência intelectual), apresentando reabsorções radiculares ou obturações dos canais radiculares foram excluídos do estudo. Como anteriormente no primeiro estudo, as experiências foram realizadas por 3 operadores de forma cega. O primeiro operador realizou os exames clínicos e radiográficos, o segundo operador conduziu todos os testes de sensibilidade e vitalidade pulpar. O terceiro operador realizou as cavidades de acesso de todos os dentes experimentais. A ordem dos testes realizados foi primeiro, o teste de frio, seguido pelo teste de calor, seguido pelo teste elétrico e por fim o teste de oximetria pulsátil, totalizando 4 testes para cada dente.

Os testes de frio e calor foram aplicados no terço médio da face vestibular dos dentes testados, com um intervalo de 2 minutos entre os dois tipos de teste. Uma resposta dentro dos primeiros 10 segundos foi registrada como uma resposta positiva. O teste elétrico foi realizado em todos os dentes testados, bem como nos dentes contralaterais como controle positivo. Assim, se a corrente necessária para obter uma resposta do

dente testado fosse idêntica à corrente necessária para obter uma resposta do dente controle, a polpa do dente testado seria considerada normal e uma resposta positiva seria registrada. No entanto, se a corrente necessária para obter uma resposta fosse maior para o dente testado em comparação com o dente controle, a polpa do dente testado seria considerada anormal e uma resposta negativa seria registrada. Da mesma forma, a ausência de resposta do dente testado registraria uma resposta negativa.

A medida do nível de saturação de oxigênio de cada dente testado foi realizada com um oxímetro pulsátil. Como termo comparativo, a saturação de oxigênio obtida nos dedos de cada paciente foi medida. Cada dente foi avaliado por 30 segundos antes que a saturação de oxigênio fosse medida. Após o teste de oximetria pulsátil, uma cavidade de acesso foi realizada em cada dente. Isso permitiu a observação da presença ou ausência de sangramento da câmara pulpar (*gold-standard*). Sangramento indica uma polpa vital e a ausência de sangramento indica necrose pulpar.

Foram realizadas sensibilidade, especificidade, valores preditivos positivos e negativos do oxímetro de pulso, dos testes térmicos e elétricos. Os resultados de todos os testes foram comparados ao controle clínico (exame direto da cavidade de acesso). Os resultados experimentais deste segundo estudo estão em concordância com os do primeiro estudo, a sensibilidade e a especificidade do teste elétrico são as mais baixas, enquanto as da oximetria são praticamente iguais. Isso reforça o fato de que a oximetria pulsátil é uma ferramenta de diagnóstico fiável e precisa no exame clínico endodôntico (Jenani *et al.*, 2020).

Um outro estudo clínico realizado por Grabliauskiene *et al.* em 2021 teve como objetivo construir um suporte universal para o sensor de oximetria pulsátil para qualquer tipo de dente, e avaliar a eficácia deste oxímetro na medição da vitalidade pulpar, comparando os níveis de saturação de oxigênio no dedo e na polpa dentária saudável.

Os pacientes incluídos no estudo obedeciam aos seguintes critérios de inclusão: (1) dente sem cárie, fratura ou descoloração; (2) boa higiene oral; (3) sem sangramento à sondagem, profundidade de sondagem entre 1 e 3 mm; (4) sem mobilidade dentária; (5) resposta normal ao teste de frio e ausência de resposta aos testes de palpação e percussão; (6) ausência de trauma dental ou dor; (7) sem calcificação da câmara pulpar. Os pacientes com tratamentos endodônticos foram incluídos no grupo de controle negativo, e os pacientes com tratamentos ortodônticos, coroas protéticas e doenças

sistêmicas foram excluídos do estudo. Um total de 138 pacientes foram incluídos neste estudo. Um total de 128 pacientes com dentes saudáveis assintomáticos foram distribuídos em 8 grupos de acordo com o tipo dentário (incisivo, canino, pré-molar e molar) com 16 dentes em cada grupo. O grupo de controle negativo era composto por 10 pacientes com um dente tratado endodonticamente, sem anomalias detectadas na radiografia e sem respostas aos testes térmicos de sensibilidade convencionais.

Um teste de frio foi realizado em todos os dentes experimentais, e se nenhuma resposta fosse detectada após 15 segundos o dente era considerado com necrose pulpar, e conseqüentemente, excluído do estudo.

O suporte do oxímetro de pulsátil foi fabricado por impressão 3D, com base num paquímetro por forma a garantir o posicionamento paralelo entre os emissores de luz e o fotodetector para todo o tipo de dentes. A medição da saturação de oxigênio foi realizada três vezes para todos os dentes em teste. Além disso, o controle positivo foi realizado medindo a saturação de oxigênio no dedo de cada paciente. Em todos os pacientes, o nível de saturação de oxigênio no dedo foi significativamente maior do que o registrado nos dentes testados ($p < 0,001$): 97,22% e 93,17%, respectivamente. Mostrou-se, não existir correlação estatisticamente significativa entre o nível de oxigenação sanguínea no dedo e os dentes maxilares ($r = 0,05$, $p = 0,72$). Também não foi encontrada diferença estatisticamente significativa nos valores de saturação de oxigênio entre todos os tipos de dentes ($\chi^2 = 2,24$, $p = 0,53$). O grupo de controle negativo apresentava uma saturação de O₂ de 0%, com uma diferença estatisticamente significativa em relação aos dentes saudáveis ($p < 0,05$).

Estes resultados mostram a eficácia do dispositivo desenhado pelos autores, mantendo o paralelismo físico entre os emissores de luz e o fotodetector, quer seja em dentes posteriores ou anteriores. A manutenção deste paralelismo é um fator chave para a correta aquisição dos valores experimentais, e conseqüentemente, para a avaliação correta do estado pulpar. No entanto, os autores sugerem realizar outro estudo, utilizando o seu dispositivo universal em dentes com diferentes estágios de patologia pulpar (Grabliauskiene *et al.*, 2021).

Métodos ópticos como ferramentas de diagnóstico da vitalidade pulpar num contexto endodôntico - Revisão sistemática

Tabela 1- Parâmetros de comparação dos estudos selecionado

Autor	Anusha et al.	Calil et al.	Dalstamamchi et al.	Gopkrishna et al.	Kong et al.	Setzer et al.	Jenani et al. (1)	Grabliauski et al.	Jenani et al. (2)
País	Índia	Brasil	Irão	Índia	Republica da Coreia	Estados Unidos da América	Índia	Lituânia	Índia
Ano	2017	2008	2012	2007	2016	2012	2020	2021	2020
Amostra	100	28/32	24	80	15	60	37	128	79
Idade (ano)	25-40	26-38	18-50	-	24-40	25-55	18-50	-	-
Patologia dentária	PR-PI-NP	Dentes sem história de patologia pulpar ou trauma	Dentes necessitam tratamento endodôntico	Dentes necessitam tratamento endodôntico	Dente sem história de tratamento endodôntico ou de histórico de trauma	Com/sem sensação dolorosa no premolar ou molar	Dentes necessitam tratamento endodôntico	Dente saudável, sem história de cárie, fratura ou trauma	Dentes necessitam tratamento endodôntico por motivo protético
Tipo de dente	Dente anterior	Incisivo central superior, canino superior	Pré-molar (monocanalar)	Incisivo, Canino, Premolar (monocanalar)	Incisivo central superior	Premolar, Molar	Incisivo, canino, Premolar	Todo tipo	Dente monocanalar
Teste de vitalidade	OP	OP	OP	OP	OP-FPG	OP	OP	OP	OP
Teste de sensibilidade	Calor, Frio	Frio	Calor, Frio, Elétrico	Frio, Elétrico	Frio, Elétrico	Calor, Frio	Calor, Frio, Elétrico	Frio	Calor, Frio, Elétrico

Legenda: OP – Oximetria Pulsátil ; FPG – Fotopletismografia ; PR – Pulpite reversível ; PI – Pulpite irreversível ; NP – Necrose pulpar

5. DISCUSSÃO

A avaliação do estado pulpar dentário é essencial para determinar a terapia endodôntica adequada e, portanto, o nível de saturação de oxigênio da polpa dentária em diferentes estágios inflamatórios é uma ferramenta de diagnóstico poderosa para a análise desta doença.

A especificidade descreve a capacidade de um dado teste para detectar a ausência de uma doença. Pelo contrário, a sensibilidade descreve a capacidade de um dado teste para detectar a doença num paciente já doente.

De acordo com Anusha et al. (2017), a especificidade e a sensibilidade da oximetria pulsátil nos grupos de controle positivo e negativo são iguais a 1. Não foram registrados falsos-negativos ou falsos-positivos nos grupos de controlo positivo e negativo, respectivamente. O valor da sensibilidade é idêntico ao valor encontrado por Gopikrishna et al. (2007), no entanto, o valor da especificidade é de 0.95. Isso pode ser devido à seleção realizada por este autor, de dentes com pulpíte irreversível. Os níveis de saturação de oxigênio para os grupos testados com pulpíte reversível, pulpíte irreversível e necrose pulpar, foram respectivamente: 85.4%, 81.6% e 70.7%, e estão em concordância com os valores de saturação de oxigênio no estudo realiado por Setzer et al. (2012), cujos estes valores para os grupos de pulpíte reversível, pulpíte irreversível, necrose pulpar, controle positivo e controle negativo foram, respectivamente: 87.4%, 83.1%, 74.6%, 92.2% e 0%. No entanto, a ligeira divergência de resultados experimentais entre os dois estudos pode ser atribuída à escolha do tipo de dentes. Anusha *et al.* (2017) realizaram os testes em dentes anteriores, cujo número de raízes é menor e o volume da câmara pulpar é mais reduzido em relação aos dentes posteriores. Os dentes com uma câmara pulpar maior apresentaram valores de oximetria mais elevados. Os resultados dos níveis de saturação de oxigênio são inversamente proporcionais à gravidade da doença pulpar. Isto sugere que uma diminuição da saturação de oxigênio em dentes com diagnóstico clínico de pulpíte reversível e pulpíte irreversível, é principalmente causada pela intensidade do processo inflamatório e pela diminuição da vascularização do tecido pulpar. Além disso, estes autores destacam que o baixo nível de saturação de oxigênio no grupo de necrose pulpar pode ser devido a um fluxo sanguíneo residual, e que não pôde ser detectado com os testes de sensibilidade convencionais. Isto permitiria evitar tratamentos endodônticos desnecessários.

O estudo de Calil *et al.* (2008) mostrou uma precisão mais elevada na medição da vitalidade pulpar através da oximetria pulsátil, do que usando os testes térmicos convencionais, em dentes com formação radicular incompleta devido às características individuais de cada dente. Além disso, os resultados mostram uma saturação sempre superior para os dados indicadores dos pacientes do que para os dentes testados. Não há correlação estatisticamente significativa entre os valores obtidos para a saturação de oxigênio do sangue entre os dentes, e aqueles obtidos para os dedos indicadores dos pacientes. Assim, os resultados deste estudo mostram uma consistência entre os valores de saturação de oxigênio obtidos para o sangue pulpar e os valores de saturação de oxigênio dos dedos indicadores, o que demonstra uma baixa correlação entre eles. No entanto, os autores destacam que encontraram dificuldades no alinhamento mecânico entre os emissores de luz e fotodetectores devido à anatomia dos dentes estudados. A concavidade da face palatina e o cingulo impediram um contato físico direto do fotodetector, o que impossibilitou uma melhor estabilidade mecânica. Por esta razão, os autores decidiram amplificar o sinal elétrico do impulso detectado, o que por outro lado fez aumentar o efeito cruzado de ruído devido à interferência da luz ambiente e dos movimentos involuntários do paciente.

Segundo Dastmalchi *et al.* (2012), a oximetria pulsátil é mais confiável para avaliar a vitalidade pulpar do que os testes de diagnóstico convencionais. Os resultados destes autores são concordantes com os resultados do estudo realizado por Gopikrishna *et al.* (2007). Além disso, os resultados de especificidade e sensibilidade para os testes de frio, calor e testes elétricos mostraram que estes métodos não podem ajudar o clínico a estabelecer um diagnóstico correto, de acordo com Dastmalchi *et al.* (2012). Contrariamente ao estudo de Gopikrishna *et al.* (2007), que mostrou um valor de sensibilidade de 0.81 para o teste de frio e de 0.72 para o teste elétrico, enquanto a especificidade era de 0.92 para ambos os testes. Estas diferenças entre a especificidade e a sensibilidade dos testes realizados também estão presentes no estudo feito por Calil *et al.* (2008). O procedimento experimental e o controle dos fatores que afetam os resultados podem estar na origem das diferentes conclusões entre os dois estudos. Dastmalchi *et al.* (2012) identificaram a diferença no tamanho da amostra e no tipo de dentes testados, como fatores principais para a divergência dos resultados obtidos. Calil *et al.* (2008) utilizaram 32 incisivos centrais superiores e 32 caninos superiores em 17 pacientes; enquanto que Gopikrishna *et al.* (2007) utilizaram 80 dentes, que eram incisivos, caninos

e pré-molares com um único canal. Para obter resultados mais confiáveis, Dastmalchi *et al.* (2012) conduziram o estudo num único tipo de dente (pré-molar mandibular com um único canal).

Kong *et al.* (2016) basearam-se na medição da circulação sanguínea. O índice de perfusão obtido a partir da FPG (fotopletismografia) é definido como a relação entre o sinal pulsátil e o sinal não-pulsátil e é expresso em percentagem. O índice de perfusão é proporcional à perfusão periférica, e assim, este índice de perfusão é um indicador da variação da microcirculação presente na polpa dentária. Os resultados deste estudo mostraram um índice de perfusão quase idêntico em todas os dentes incisivos centrais testados (entre 0.3% e 0.5%), sugerindo que o índice de perfusão pode ser uma medida alternativa eficaz e não invasiva da vitalidade pulpar. Embora os valores sejam baixos, a sensibilidade do índice de perfusão, em proporção ao volume sanguíneo, permite avaliar a vitalidade pulpar associada às lesões dentárias, talvez de maneira mais sensível do que na medição da saturação de oxigênio. Por outro lado, os autores relataram que o índice de perfusão não foi calculado na incisiva central que havia passado por tratamento endodôntico, porque a FPG não foi obtida de maneira estável. Ao contrário da incisiva central vital, que apresenta um suprimento vascular da polpa e cujos valores do índice de perfusão permanecem estáveis, resulta que os sinais da FPG são estáveis. Portanto, um índice de perfusão estável indica que a forma de onda da FPG é estável e, conseqüentemente, que há uma vascularização suficiente da polpa, permitindo assim diferenciar dentes vitais de dentes não vitais.

Casos clínicos relataram uma ativação sensorial das fibras nervosas sobreviventes em casos de necrose pulpar. De facto, as fibras nervosas residuais foram detectadas na dentina de dentes com danos pulpares graves (Brännström, M., 1981). Estes factos indicam que tanto os testes de sensibilidade, como os testes térmicos e elétricos da polpa, fornecem informações limitadas sobre a vitalidade do dente, pois as fibras sensoriais residuais não indicam que a polpa está saudável. O estudo de Setzer *et al.* (2012) não incluiu os testes elétricos porque este tipo de teste estimula as fibras nervosas C, enquanto que os testes térmicos estimulam as fibras A.

A estimulação das fibras nervosas C resulta em falsos negativos, e as fibras A são dependentes de oxigênio, ao contrário das fibras C. Assim, os testes térmicos fornecem uma interpretação mais confiável da vitalidade pulpar em comparação com os testes elétricos.

A medição da saturação de oxigênio presente na polpa dentária foi realizada através de um oxímetro pulsátil. Embora comum nos serviços de saúde hospitalares ou em consultórios médicos privados para avaliar a saturação de oxigênio de um paciente, colocando o dispositivo numa extremidade ricamente vascularizada como por exemplo o dedo indicador, o seu uso na odontologia ainda é marginal. Alguns autores, como Janani *et al.* (2020), Grabliauskienė *et al.* (2021), Dastmalchi *et al.* (2012) e Gopikrishna *et al.* (2007), desenvolveram e utilizaram oxímetros pulsáteis específicos para uso odontológico. Os dispositivos foram projetados para se adaptar às estruturas dentárias, visto que as dificuldades experimentais encontradas por estes autores foram principalmente causadas pela anatomia dentária. De facto, para uma aquisição de dados ideal, é necessário que os emissores de luz e o fotodetector estejam fisicamente paralelos entre si, e hermeticamente isolados da luz ambiente e mecanicamente estáveis durante todo o procedimento de medição. Assim, a personalização dos oxímetros por estes autores visou cumprir estes objetivos. Embora a construção de um dispositivo utilizável na prática clínica diária seja um desafio, outros parâmetros também influenciam a qualidade dos resultados experimentais. Durante a medição, o paciente deve manter a boca aberta e permanecer o mais imóvel possível, para evitar qualquer interferência adicional. Além disso, a idade do paciente também é um fator que influencia os resultados. Isto é, quanto mais idoso é o paciente, menor é o volume da câmara pulpar, o que pode originar medições erradas. A presença de trauma dentário, calcificação e restaurações são também fatores que podem influenciar as medições da vitalidade pulpar, seja nos testes convencionais de sensibilidade ou na oximetria pulsátil.

Baseando-nos nos artigos científicos analisados nesta revisão sistemática, a utilização da oximetria pulsátil é com certeza uma vantagem experimental para a determinação da vitalidade pulpar. Oferece ao clínico a possibilidade de ter uma ideia precisa do estado inflamatório do dente e, assim, estabelecer um plano de tratamento adequado. Como indicado na Tabela 2, a utilização clínica estaria sujeita a certas condições de uso, como um controlo absoluto da humidade (a humidade é a quantidade de vapor de água presente no ar. Provocada pela respiração do paciente, as partículas de água condensam-se na superfície dentária, podendo provocar resultados alterados), do sangue ou dos fluidos gengivais. As medições devem ser realizadas em dentes secos, o que representa uma limitação adicional para o clínico. Além disso, a cooperação do paciente é um factor chave para uma utilização eficaz do dispositivo, o que pode não ser adequado para uso pediátrico

ou em pacientes com alterações motoras ou psíquicas. No entanto, os estudos realizados nesta revisão sistemática foram conduzidos em pacientes cujos órgãos dentários estavam isentos de trauma e calcificação. É, portanto, necessário realizar mais estudos numa ampla gama de pacientes, incluindo pacientes de todas as idades, pacientes com diversas doenças sistémicas e pacientes com antecedentes de trauma ou patologias odontológicas. Assim, por enquanto, a oximetria pulsátil oferece uma utilização limitada na clínica dentária. Seria mais aconselhável nesta fase, utilizá-la juntamente com as técnicas convencionais de diagnóstico pulpar.

Tabela 2 - Exemplo de protocolo clínico, vantagens e inconvenientes da oximetria pulsátil

Exemplo de protocolo clínico	<ol style="list-style-type: none"> 1 - Historia clinica do paciente 2 - Informar o paciente sobre o objetivo e sobre o carácter não invasivo e indolor do método. 3 - Colocar o paciente em posição sentada ou deitada. 4 - Limpar o dente (tártaro, placa dentária, resíduos alimentares, ...). <i>Isso pode interferir na medição.</i> 5 - Isolamento absoluto do dente com um dique. <i>Isolar os dentes antagonistas, tecido gengival, saliva e sangue.</i> 6 - Secar o dente. <i>Interferência pelos fluidos gengivais, sangue, água.</i> 7 - Colocação do oxímetro pulsátil. Verificar o paralelismo entre o sensor e o fotorreceptor e o bom isolamento deste. O sensor e o fotorreceptor estão dispostos nas faces vestibular e palatina do dente. <i>Facultativo: A aplicação de gel pode melhorar a transmissão de luz.</i> 8 - Verificar a estabilidade da leitura. 9 - Aquisição dos dados e interpretação dos resultados. 10 - Retirada do dispositivo e desinfecção. 11 - Guardar as medidas no ficheiro do paciente.
Vantagem	<ul style="list-style-type: none"> - Não invasivo - Indolor - Medição precisa - Reprodutível - Medições comparáveis com referência

**Métodos ópticos como ferramentas de diagnóstico da vitalidade pulpar num contexto endodôntico -
Revisão sistemática**

Inconveniente	<ul style="list-style-type: none">- Necessita da colaboração do paciente- Manter o dispositivo imóvel e paralelo ao dente- Doença sistêmica com repercussões cardiovasculares- Luminosidade ambiente
---------------	---

6. CONCLUSÃO

A avaliação da vitalidade pulpar é uma etapa crucial para fazer um diagnóstico e elaborar um plano de tratamento. Atualmente, os métodos de teste convencionais determinam indiretamente a vitalidade dos dentes e permanecem imprecisos quanto ao grau de inflamação, o que pode levar a uma decisão terapêutica que pode ser subestimada ou, pelo contrário, excessiva. A medição da vitalidade pulpar por oximetria pulsátil é uma abordagem promissora como ferramenta de diagnóstico, pois mede diretamente a saturação de oxigênio na polpa dentária, ao contrário dos métodos convencionais de diagnóstico. A sua sensibilidade e especificidade, sendo mais elevadas do que para os testes térmicos e elétricos convencionais, tornam a oximetria pulsátil mais precisa e confiável. Os diferentes autores analisados nesta revisão sistemática demonstraram uma determinação do estado pulpar em diferentes estágios inflamatórios, independentemente do dente testado, significativamente mais preciso do que com os testes de sensibilidade convencionais. A medição do índice de perfusão por fotopletismografia também parece ser uma ferramenta promissora. A medição do fluxo sanguíneo intrapulpar é um indicador de vitalidade pulpar. Dado que a fotopletismografia utiliza um oxímetro pulsátil, isto permite considerar a complementaridade deste método com a medição do nível de saturação de oxigênio.

No entanto, não existem dispositivos de oximetria pulsátil específicos para uso odontológico disponíveis comercialmente. As estruturas anatómicas de cada um dos dentes na cavidade bucal, combinadas com a individualidade dessa anatomia específica de cada paciente, tornam mais difícil a concepção de um oxímetro pulsátil para uso dentário universal.

A eficácia da oximetria pulsátil também foi testada em pacientes sem patologias ou defeitos dentários específicos. Doenças sistêmicas, como diabetes, que facilitam o aparecimento de hiperplasia gengival, ou doenças genéticas que alteram a estrutura dos dentes, poderão tornar o uso da oximetria pulsátil mais difícil. Além disso, a presença de fraturas, restaurações parciais ou outros fatores extrínsecos ao dente também poderão afetar sua eficiente utilização. É, portanto, necessário realizar mais estudos para avaliar a eficácia da oximetria pulsátil nestas situações, bem como desenvolver um dispositivo dentário que permita o seu uso generalizado na clínica.

Métodos ópticos como ferramentas de diagnóstico da vitalidade pulpar num contexto endodôntico - Revisão sistemática

Assim, por enquanto, a sua utilização numa clínica dentária permanece limitada devido à sua disponibilidade e uso restritivo. É por essa razão que, hoje, este método deve ser combinado com os métodos convencionais de sensibilidade pulpar.

No entanto, a oximetria pulsátil, devido à sua precisão em determinar um estado inflamatório pulpar, é uma ferramenta de diagnóstico que poderá ser eficaz em conjunto com terapias de restauração pulpar, tais como a Terapia Endodôntica Regenerativa (TER), a utilização de biomateriais como o MTA, a utilização de fatores de crescimento e células estaminais, ou ainda a terapia por matriz de colagénio, que é o futuro da endodontia. O que pode levar a uma nova abordagem no tratamento do paciente em um contexto endodôntico.

7. BIBLIOGRAFIA

- Anusha, Bander. (2017). « Assessment of Pulp Oxygen Saturation Levels by Pulse Oximetry for Pulpal Diseases –A Diagnostic Study ». *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/28322.10572>
- Brannstrom, M. (octobre 1986). « The Hydrodynamic Theory of Dentinal Pain: Sensation in Preparations, Caries, and the Dentinal Crack Syndrome ». *Journal of Endodontics* 12, n° 10: 453-57. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(86\)80198-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(86)80198-4)
- Calil, E., Caldeira, C. L., Gavini, G., & Lemos, E. M. (septembre 2008). « Determination of Pulp Vitality in Vivo with Pulse Oximetry ». *International Endodontic Journal* 41, n° 9: 741-46. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01421.x>
- Chen, Eugene, & Abbott, P. V. (2009). « Dental Pulp Testing: A Review ». *International Journal of Dentistry* 2009 : 365785. <https://doi.org/10.1155/2009/365785>
- Dastmalchi, Nafiseh, Jafarzadeh, H., & Moradi, S. (septembre 2012). « Comparison of the Efficacy of a Custom-Made Pulse Oximeter Probe with Digital Electric Pulp Tester, Cold Spray, and Rubber Cup for Assessing Pulp Vitality ». *Journal of Endodontics* 38, n° 9: 1182-86. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.06.012>
- Emshoff, R., Emshoff, I., Moschen, I., & Strobl, H. (octobre 2004). « Diagnostic Characteristics of Pulpal Blood Flow Levels Associated with Adverse Outcomes of Luxated Permanent Maxillary Incisors ». *Dental Traumatology: Official Publication of International Association for Dental Traumatology* 20, n° 5: 270-75. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2004.00281.x>
- Gandy, S. R. (septembre 1995). « The Use of Pulse Oximetry in Dentistry ». *Journal of the American Dental Association (1939)* 126, n° 9: 1274-76, 1278. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1995.0363>
- Goho, C. « Pulse Oximetry Evaluation of Vitality in Primary and Immature Permanent Teeth ». *Pediatric Dentistry* 21, n°2 (1999): 125-27.
- Gopikrishna, Velayutham, Tinagupta, K., & Kandaswamy, D. (avril 2007). « Evaluation of Efficacy of a New Custom-Made Pulse Oximeter Dental Probe in Comparison With the Electrical and Thermal Tests for Assessing Pulp Vitality ». *Journal of Endodontics* 33, n° 4: 411-14. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.12.003>
- Grabliauskienė, Živilė, Zamaliauskienė, R., & Lodienė, G. (23 janvier 2021). « Pulp Vitality Testing with a Developed Universal Pulse Oximeter Probe Holder ». *Medicina* 57, n° 2: 101. <https://doi.org/10.3390/medicina57020101>
- Jafarzadeh, H. (2009). « Laser Doppler Flowmetry in Endodontics: A Review ». *International Endodontic Journal* 42, n° 6: 476-90. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2009.01548.x>
- Janani, Krishnamachari, Ajitha, P, & Sandhya, R. (31 janvier 2020). « Diagnostic Accuracy of Dental Pulse Oximeter with Customized Sensor Holder, Thermal Test and Electric Pulp Test for the Evaluation of Pulp Vitality: An in Vivo Study ». *Brazilian Dental Science* 23, n° 1. <https://doi.org/10.14295/bds.2020.v23i1.1805>
- Janani, Krishnamachari, Ajitha, P., Sandhya, R., Subbaiyan, H., & Jose, J. (2020). « Efficiency of New Custom-Made Pulse Oximeter Sensor Holder in Assessment of Actual Pulp Status ». *Journal of Family Medicine and Primary Care* 9, n° 7: 3333. https://doi.org/10.4103/jfmpe.ifmpc.73_20

Métodos ópticos como ferramentas de diagnóstico da vitalidade pulpar num contexto endodôntico - Revisão sistemática

- Komabayashi, Takashi, & Zhu, Q. (mai 2010). « Innovative Endodontic Therapy for Anti-Inflammatory Direct Pulp Capping of Permanent Teeth with a Mature Apex ». *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics* 109, n° 5: e75-81. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.12.034>
- Kong, Hyoun-Joong, Jeon Shin, T., Hyun, H. K., Kim, Y. J., Kim, J. W., & Shon W. J. (3 juillet 2016). « Oxygen Saturation and Perfusion Index from Pulse Oximetry in Adult Volunteers with Viable Incisors ». *Acta Odontologica Scandinavica* 74, n° 5: 411-15. <https://doi.org/10.3109/00016357.2016.1171898>
- Lima, Pinto, A. Beelen, P., et Bakker, J. (juin 2002). « Use of a Peripheral Perfusion Index Derived from the Pulse Oximetry Signal as a Noninvasive Indicator of Perfusion ». *Critical Care Medicine* 30, n° 6: 1210-13. <https://doi.org/10.1097/00003246-200206000-00006>
- Lin, Louis M., Ricucci, D., Saoud, T.M., Sigurdsson, A., & Kahler, B. (avril 2020). « Vital Pulp Therapy of Mature Permanent Teeth with Irreversible Pulpitis from the Perspective of Pulp Biology ». *Australian Endodontic Journal: The Journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 46, n° 1: 154-66. <https://doi.org/10.1111/aej.12392>
- Miwa, Zenzo, Ikawa, M., Iijima, H., Saito, M., & Takagi, Y. (2002). « Pulpal Blood Flow in Vital and Nonvital Young Permanent Teeth Measured by Transmitted-Light Photoplethysmography: A Pilot Study ». *Pediatric Dentistry* 24, n° 6: 594-98
- Nijboer, J. A., J. C. Dorlas, & H. F. Mahieu. (août 1981). « Photoelectric Plethysmography--Some Fundamental Aspects of the Reflection and Transmission Method ». *Clinical Physics and Physiological Measurement: An Official Journal of the Hospital Physicists' Association, Deutsche Gesellschaft Fur Medizinische Physik and the European Federation of Organisations for Medical Physics* 2, n° 3: 205-15. <https://doi.org/10.1088/0143-0815/2/3/004>
- Petersson, K., Söderström, C., Kiani-Anaraki, M. & Lévy, G. (juin 1999). « Evaluation of the Ability of Thermal and Electrical Tests to Register Pulp Vitality ». *Endodontics & Dental Traumatology* 15, n° 3: 127-31. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1999.tb00769.x>
- Radhakrishnan, Sangeeth, A. K. Munshi, & Hegde, A. M. (2002). « Pulse Oximetry: A Diagnostic Instrument in Pulpal Vitality Testing ». *The Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 26, n° 2: 141-45. <https://doi.org/10.17796/jcpd.26.2.2j25008jg6u86236>
- Roebuck, E. M., D. J. Evans, D. Stirrups, & R. Strang. (septembre 2000). « The Effect of Wavelength, Bandwidth, and Probe Design and Position on Assessing the Vitality of Anterior Teeth with Laser Doppler Flowmetry ». *International Journal of Paediatric Dentistry* 10, n° 3: 213-20. <https://doi.org/10.1046/j.1365-263x.2000.00194.x>
- Roeykens, Herman, Van Maele, G., Martens, L., & De Moor, R. (avril 2002). « A Two-Probe Laser Doppler Flowmetry Assessment as an Exclusive Diagnostic Device in a Long-Term Follow-up of Traumatized Teeth: A Case Report ». *Dental Traumatology: Official Publication of International Association for Dental Traumatology* 18, n° 2 : 86-91. <https://doi.org/10.1034/j.1600-9657.2002.180208.x>
- Schnettler, J. M., & Wallace, J. A. (octobre 1991). « Pulse Oximetry as a Diagnostic Tool of Pulpal Vitality ». *Journal of Endodontics* 17, n° 10: 488-90. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)81795-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)81795-4)
- Setzer, Frank C., Hidee Hamoy Kataoka, S., Natrielli, F., Gondim-Junior, E., & Caldeira. C. L. (juillet 2012). « Clinical Diagnosis of Pulp Inflammation Based on Pulp Oxygenation Rates Measured by Pulse Oximetry ». *Journal of Endodontics* 38, n° 7: 880-83. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.03.027>

**Métodos ópticos como ferramentas de diagnóstico da vitalidade pulpar num contexto endodôntico -
Revisão sistemática**

Simon S, Cooper P, Machtou P. (2008). «Pulp biology: understanding in daily practice ». Rev Odont Stomat. 37, n° 3: 209-235

Smith AJ, Cassidy N, Perry H, Begue-Kirn C, Ruch JV, Lesot H. (2003). « Reactionary dentinogenesis.» Int J Dev Biol. 2003;39(1):273-80.

Whiting, Penny F. (18 octobre 2011). « QUADAS-2: A Revised Tool for the Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies ». *Annals of Internal Medicine* 155, n° 8: 529. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-155-8-201110180-00009>