ESPECIALIZAÇÃO EM IMPLANDONTONTIA

GILIARDO CONCEIÇÃO NASCIMENTO

IMPLANTES DENTÁRIOS DE ZIRCÔNIA E TITÂNIO: REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE OS ASPECTOS BIOMECÂNICOS E DA OSSEOINTEGRAÇÃO

JUAZEIRO / BA
2024

GILIARDO CONCEIÇÃO NASCIMENTO

IMPLANTES DENTÁRIOS DE ZIRCÔNIA E TITÂNIO: REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE OS ASPECTOS BIOMECÂNICOS E DA OSSEOINTEGRAÇÃO

Monografia apresentado ao curso de pós-graduação em Odontologia pela FACSETE – Faculdade de Sete Lagoas como requisito para obtenção de título de especialista em Implantodontia.

Orientador: Me. William Bogard

JUAZEIRO / BA
2024

FACSETE
Faculdade Sete Lagoas
Portaria MEC 299/2011 - D.O.U. 25/03/2011
Portaria MEC 033/2014 - D.O.U. 29/01/2014

GILIARDO CONCEIÇÃO NASCIMENTO

IMPLANTES DENTÁRIOS DE ZIRCÔNIA E TITÂNIO: REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE OS ASPECTOS BIOMECÂNICOS E DA OSSEOINTEGRAÇÃO

Monografia apresentado ao curso de pós-graduação em Odontologia pela FACSETE – Faculdade de Sete Lagoas como requisito para obtenção de título de especialista em Implantodontia.

Aprovada em ___/___/____ pela banca constituída dos seguintes professores:

_____
Profº. Me. William Bogard
Orientador

_____
Prof.ª Nalini Lua
Membro Avaliador

_____
Profº. Solon Xavier
Membro Avaliador

JUAZEIRO / BA
2024

Dedico à minha família, pelo amor incondicional, apoio e incentivo que nunca me faltaram. Agradeço especialmente aos meus pais e ao meu filho, que são minha inspiração e força para seguir sempre em frente.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus, por iluminar meu caminho e ser meu refúgio e fortaleza em todos os momentos. pela realização dos meus sonhos e por sempre colocar em minha vida pessoas especiais, que me deram força e coragem para chegar até aqui.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e acreditaram nos meus ideais, mesmo que muitas vezes precisassem colocar os próprios sonhos em segundo plano. por agradecer-me guiarem-me na vida, ensinando-me sobre respeito, honestidade e dedicação.

À minha esposa e ao meu filho, meus maiores presentes e inspirações. Vocês são minha força diária e a razão pela qual buscamos sempre evoluir e alcançar novas conquistas. À minha esposa, por estar ao meu lado em todos os momentos, com amor, compreensão e apoio incondicional. Ao meu filho, que com seu sorriso e alegria transforma os dias difíceis em combustível para que eu continue perseverando. Vocês me impulsionam a ser o melhor que posso ser, para que juntos possamos construir um futuro cheio de sonhos realizados e felicidade compartilhada.

Aos meus professores e colegas de formação, que compartilharam não só conhecimento, mas também incentivo e apoio em cada etapa, especialmente aos professores da especialização e aqueles que, de alguma forma, desenvolvem com sua sabedoria para a construção do meu caminho profissional.

A todos o meu sincero agradecimento!

RESUMO

O presente estudo explora as propriedades biomecânicas e a capacidade de osseointegração dos implantes lesionados de titânio e zircônia, destacando suas particularidades e aplicações clínicas. O titânio é extremamente reconhecido por sua elevada resistência mecânica, biocompatibilidade superior e longa durabilidade, fatores que o tornam uma escolha consolidada em procedimentos odontológicos. Já a zircônia se diferencia por oferecer vantagens estéticas, como sua aparência semelhante aos dentes naturais, além de uma menor adesão bacteriana, sendo especialmente indicada em pacientes com alta exigência estética ou que apresentam reações alérgicas a metais. O objetivo geral deste trabalho foi examinar como a literatura científica aborda os implantes perdidos desses materiais, enquanto os objetivos específicos incluem mapear a localização, o período e o tipo de estudos nas bases consultadas, além de avaliar aspectos biomecânicos e de osseointegração relacionados a cada material. Para isso, foi realizada uma revisão integrativa da literatura com base em artigos publicados entre 2019 e 2024, nas plataformas PUBMED e SciELO, resultando em uma seleção de 33 artigos relevantes. Uma análise revelou que, embora os titânios demonstrem uma osseointegração inicial mais eficiente, ambos os materiais apresentam desempenho semelhante em superfícies micro rugosas. No entanto, a zircônia enfrenta limitações associadas à resistência à fratura e ao envelhecimento estrutural em ambientes úmidos. Apesar disso, avanços tecnológicos nos tratamentos de superfície ampliaram seu potencial de aplicação em odontologia. Conclui-se que a escolha entre esses materiais deve ser fundamentada em uma análise cuidadosa das necessidades específicas do paciente, considerando tanto os benefícios estéticos quanto as propriedades mecânicas e biológicas de cada material. Este estudo contribui para embasar decisões clínicas mais informadas, apoiando o uso de implantes dentários que atendem de maneira mais eficaz às demandas funcionais e estéticas de cada caso.

Palavras-chave: Implantes Dentários; Zircônia; Biomecânica; Osseointegração; Titânio.

ABSTRACT

This study explores the biomechanical properties and osseointegration potential of titanium and zirconia dental implants, highlighting their unique features and clinical applications. Titanium is widely recognized for its high mechanical strength, superior biocompatibility, and long-term durability, making it a well-established choice in dental procedures. Zirconia, on the other hand, stands out for its aesthetic advantages, such as its resemblance to natural teeth, and reduced bacterial adhesion, being particularly suitable for patients with high aesthetic demands or metal allergies. The main objective of this work was to examine how scientific literature addresses dental implants made of these materials. Specific objectives include mapping the location, period, and types of studies in the selected databases, as well as evaluating the biomechanical aspects and osseointegration capabilities of each material. An integrative literature review was conducted based on articles published between 2019 and 2024 in the PUBMED and SciELO databases, resulting in a selection of 33 relevant articles. The analysis revealed that although titanium demonstrates more efficient initial osseointegration, both materials show comparable performance when micro-roughened surfaces are used. However, zirconia faces limitations related to fracture resistance and structural aging in humid environments. Nevertheless, technological advances in surface treatments have enhanced its potential applications in dentistry. It is concluded that the choice between these materials should be based on a careful analysis of the patient's specific needs, considering both aesthetic benefits and the mechanical and biological properties of each material. This study contributes to more informed clinical decision-making, supporting the use of dental implants that effectively address the functional and aesthetic demands of each case.

Keywords: Dental implants; Zirconia; Biomechanics; Osseointegration; Titanium.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fluxograma 1 – Etapas dos métodos para seleção dos artigos do descritor principal Zircônia no PUBMED e Scientific Eletronic Library Online (SciELO). 17

Fluxograma 2 – Etapas dos métodos para seleção dos artigos do descritor principal Titânio no PUBMED e Scientific Eletronic Library Online (SciELO). 17

Quadro 1 – História da aplicação da zircônia na medicina 20

Quadro 2 – História da aplicação de titânio na medicina..... 21

Figura 1 – Ilustração das fases cristalográficas: Monoclínica, Tetragonal e Cúbica. 23

Figura 2 – Ilustração esquemática das vantagens e desvantagens dos implantes de zircônia 24

Figura 3 – Ilustração esquemática das vantagens e desvantagens dos implantes de titânio..... 26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10

2 OBJETIVOS 12
2.1 OBJETIVO GERAL 12
2.2 OBJETIVO ESPECIFICOS 12

3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS 13
3.1 TIPO DE ESTUDO 13
3.2 BASE DE DADOS CONSULTADAS 13
3.3 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS ARTIGOS 14

4 REVISÃO DE LITERATURA 19
4.1 ZIRCÔNIA: HISTÓRICO 19
4.2 TITÂNIO: HISTÓRICO 20
4.3 ASPECTOS BIOMECÂNICOS ENTRE ZIRCÔNIA E TITÂNIO 21
4.4 COMPARAÇÃO DE OSSEOINTEGRAÇÃO DE ZIRCÔNIA E TITÂNIO 26

5 DISCUSSÃO 29

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 32

REFERÊNCIAS 33

1 INTRODUÇÃO

A substituição de dentes perdidos em pacientes parcial ou totalmente edêntulos por implantes dentários consolidou-se como uma das abordagens mais baseadas em evidências na odontologia moderna. Esse tratamento depende fundamentalmente da osseointegração, que é a ancoragem do implante ao tecido ósseo circundante, assegurando sua estabilidade funcional (Branemark et al., 1969; Schroeder; Pohler; Sutter, 1976).

Desde então, tanto os implantes de titânio puro como as ligas de titânio-zircônio têm sido amplamente estudados, com foco em suas propriedades mecânicas e biocompatibilidade (Roehling; Meng; Cochran, 2015). A maioria dos implantes é fabricada com titânio grau 4, enquanto as ligas de titânio (Ti-6Al-4V), feitas de titânio grau 5, são preferidas em função de sua maior resistência à fadiga e à força (Le Guehennec et al., 2007).

Embora o titânio seja amplamente reconhecido por suas excelentes propriedades mecânicas e biocompatíveis, algumas desvantagens têm sido observadas, como a descoloração do tecido mole ao redor do implante, o risco de hipersensibilidade e a vulnerabilidade ao desenvolvimento de peri-implantite (Thoma et al., 2016). Esses fatores, juntamente com a crescente demanda por soluções estéticas e a preocupação com reações alérgicas ao titânio, têm levado ao aumento do interesse por implantes livres de metais. Aproximadamente 9,7% dos implantes sofrem alguma complicação estética em um período de cinco anos (Ramanauskaite, 2022).

Em um cenário onde a demanda por estética tem crescido significativamente, a cerâmica conquistou uma posição de destaque na indústria odontológica. Atualmente, esse material é amplamente utilizado na confecção de facetas, pilares para restaurações totalmente cerâmicas suportadas por dentes ou implantes, além de ser empregado na fabricação de implantes orais. Essa popularidade deve-se às suas propriedades estéticas superiores e à sua capacidade de atender às expectativas dos pacientes modernos (Kohal et al., 2008).

A zircônia, introduzida como biomaterial na década de 1970, foi inicialmente utilizada para substituir alumina e titânio em próteses de quadril (Anusavice; Shen; Rawls, 2013; Manicone; Iommetti; Raffaelli, 2007). Na odontologia, a zircônia emergiu

como um material de destaque para a fabricação de implantes e seus componentes, como pilares, devido às suas propriedades mecânicas, estéticas e biocompatíveis superiores. Sua elevada resistência à fratura e ao desgaste, aliada à coloração semelhante à dos dentes naturais, a torna especialmente indicada para áreas com alta demanda estética (Pilathadka; Vahalová; Vosáhlo, 2007).

As cerâmicas à base de zircônia (ZrO_2) têm grande potencial em diversas aplicações como biomateriais, devido à sua alta resistência mecânica e excelente tenacidade à fratura (Patel; Gohil, 2012).

A zircônia possui em média uma resistência flexural 900-1200MPa, sua tenacidade a compressão pode chegar a 2.000 MPa (Denry; Kelly, 2008; Piconi; Maccauro, 1999; Vagkopoulou et al., 2009).

Embora a zircônia seja um material de alta resistência, sua exposição à água ou outros fluidos pode provocar alterações em sua estrutura, sendo conhecida como "envelhecimento da zircônia" ou "degradação em baixa temperatura". Esse processo resulta em uma diminuição gradual de sua resistência mecânica (Ramesh et al., 2012).

Iremos abordar como literatura científica tem comparado entre implantes de zircônia e titânio, com ênfase nos aspectos biomecânicos e na osseointegração.

Este estudo oferece uma contribuição significativa para aprimorar o conhecimento de acadêmicos e cirurgiões-dentistas sobre a utilização de zircônia como material em implantes dentários, por meio de uma revisão de literatura. A pesquisa busca descrever de maneira específicas as propriedades mecânicas, estéticas e biocompatíveis da zircônia, além de suas vantagens e limitações em comparação com outros materiais, como o titânio. Ao fornecer uma análise crítica, o estudo visa facilitar a tomada de decisões clínicas mais fundamentadas, auxiliando na escolha do material mais adequado para diferentes casos, como em pacientes com alta exigência estética ou que apresentam alergia ao metal. Desta forma, contribui para um parecer mais preciso em relação às especificações específicas para o uso da zircônia em implantes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Nesse contexto, o estudo teve como objetivo principal analisar como a literatura aborda a comparação entre implantes de zircônia e titânio, com ênfase nos aspectos biomecânicos e na osseointegração.

2.2 OBJETIVO ESPECIFICOS

Como objetivos específicos: Avaliar as propriedades mecânicas de implantes de titânio e zircônia. Comparar a capacidade de osseointegração entre os dois materiais. Analisar estudos clínicos e in vitro sobre o comportamento biomecânico e biológico dos materiais.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 TIPO DE ESTUDO

Este trabalho apresenta uma revisão integrativa da literatura com foco nos implantes dentários de zircônia e titânio, analisando seus aspectos biomecânicos e de osseointegração. A metodologia adotada inclui a avaliação de publicações científicas nacionais e internacionais disponíveis em bases de dados eletrônicas, abrangendo artigos acadêmicos e periódicos especializados.

O objetivo principal é identificar e sistematizar as evidências mais recentes sobre o tema, promovendo uma análise detalhada das características dos implantes de zircônia e titânio, suas aplicações clínicas, vantagens, limitações e desafios relacionados à biomecânica e à osseointegração. Além de consolidar o conhecimento atual, este estudo tem como propósito fornece uma base teórica robusta que possa orientar o desenvolvimento de novas pesquisas e projetos futuros na área.

A revisão integrativa, conforme descrita por Broome (2006), possibilita uma abordagem abrangente da literatura, reunindo métodos e resultados diversos em um único panorama. Essa estratégia favorece a identificação de lacunas no conhecimento e a elaboração de uma compreensão global do tema.

Galvão et al. (2008), destacam que esse tipo de revisão permite explorar diferentes abordagens metodológicas, oferecendo ao leitor ferramentas para uma análise crítica e aprofundada dos conteúdos apresentados, o que contribui para avanços teóricos e práticos.

Ao adotar essa abordagem, o estudo busca não apenas apresentar informações relevantes, mas também apoiar profissionais e pesquisadores na tomada de decisões bem fundamentadas, promovendo a implementação de práticas mais eficientes e seguras no campo da implantodontia.

3.2 BASE DE DADOS CONSULTADAS

A coleta de dados para este estudo foi realizada entre os meses de setembro e novembro de 2024, abrangendo artigos disponíveis em bases de dados amplamente reconhecidas, como o MEDLINE (via PubMed) e a biblioteca eletrônica Scientific

Electronic Library Online (SciELO). O período de análise foi delimitado entre os anos de 2019 e 2024, com o objetivo de contemplar as publicações mais recentes e relevantes na área da saúde.

Essa delimitação temporal foi estrategicamente definida para assegurar que o estudo refletisse os avanços mais atuais, considerando as novas abordagens, opiniões, conceitos e princípios desenvolvidos no campo. Em particular, o foco recaiu sobre a relevância dos implantes dentários de zircônia e titânio, buscando explorar seus aspectos biomecânicos, de osseointegração e as inovações associadas a esses materiais no contexto da odontologia moderna. Essa seleção visa oferecer uma base sólida e atualizada para discussões, comparações e futuras investigações científicas.

3.3 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS ARTIGOS

A pesquisa dos artigos foi feita com o uso das palavras chaves, precisamente no idioma em português, tendo como descritores principais: *zircônia; titânio,* e para cruzamento com os descritores principais os seguintes descritores secundários: *implante dentário; biomecânica; osseointegração,* no idioma inglês, tendo como descritor principal: *zirconia; titanium* e para cruzamento com os descritores principais os seguintes descritores secundários*: dental implant; biomechanics; osseointegration.*

Neste estudo, foram estabelecidos critérios de inclusão bem definidos para garantir a relevância e a qualidade das informações comprovadas. Os critérios de inclusão abarcaram artigos de pesquisa clínica realizados em humanos e revisões sistemáticas, publicados entre os anos de 2019 e 2024, disponíveis integralmente em formato eletrônico e acessíveis por meio de plataformas online. Apenas publicadas redigidas nos idiomas português e inglês, que abordaram diretamente o tema proposto, foram consideradas para análise.

Por outro lado, os critérios de exclusão foram aplicados para eliminar conteúdos que não atendem ao escopo deste trabalho. Foram desconsiderados estudos realizados com animais, revisões narrativas, dissertações acadêmicas, publicações fora do período previsto, trabalhos repetidos e aqueles redigidos em idiomas diferentes dos especificados. Essa delimitação rigorosa buscou garantir que as fontes selecionadas fossem específicas aos objetivos do estudo, contribuindo para uma análise criteriosa e abrangente.

Para o descritor “Zirconia” foram encontradas, na PUBMED, 1.171 publicações. Na base de dados Scientific Eletronic Library Online (SciELO), para o mesmo descritor, no idioma português, foram encontradas 47 publicações. Em seguida, foram feitos os cruzamentos entre os descritores, como indicado no Fluxograma 1.

No banco de dados eletrônico on-line PUBMED foram utilizados os filtros “Texto completo”; “Pesquisa com Humanos”; “Ano de publicação”: 2019 a 2024. No Scientific Eletronic Library Online (SciELO), os filtros foram: “Idioma”: Português e Inglês; “Ano de publicação”: 2019 a 2024; “Texto completo”; “Área Temática”: Odontologia, cirurgia oral e medicina.

No cruzamento dos descritores “Zirconia” e “dental implant” na PUBMED foram encontrados, com os filtros, 472 publicações, sendo que 465 foram excluídos. No Scientific Eletronic Library Online (SciELO) com mesmo descritor, no idioma português, apresentou 2 publicações, sendo que 2 foram excluídos.

No cruzamento dos descritores “Zirconia” e “biomechanics” na PUBMED foram encontrados, com os filtros, 49 publicações, sendo que 42 foram excluídos. No Scientific Eletronic Library Online (SciELO) com mesmo descritor, no idioma português, apresentou 1 publicação, sendo que 1 foi excluído.

No cruzamento dos descritores “Zirconia” e “osseointegration” na PUBMED foram encontrados, com os filtros, 41 publicações, sendo que 37 foram excluídos. No Scientific Eletronic Library Online (SciELO) com mesmo descritor, no idioma português, apresentou 0 publicação.

Depois da exclusão dos trabalhos, a amostra utilizando o descritor principal zircônia foi constituída, por 19 trabalhos.

Abaixo, segue o fluxograma ilustrativo que demonstra a descrição de cada etapa realizada para a escolha criteriosa dos títulos selecionados para o estudo (Fluxograma 1).

Para o descritor “Titanium” foram encontradas, na PUBMED, 5.711 publicações. Na base de dados Scientific Eletronic Library Online (SciELO), para o mesmo descritor, no idioma português, foram encontradas 35 publicações. Em seguida, foram feitos os cruzamentos entre os descritores, como indicado no Fluxograma 2.

No banco de dados eletrônico on-line PUBMED foram utilizados os filtros “Texto completo”; “Pesquisa com Humanos”; “Ano de publicação”: 2019 a 2024. No Scientific Eletronic Library Online (SciELO), os filtros foram: “Idioma”: Português e Inglês; “Ano

de publicação”: 2019 a 2024; “Texto completo”; “Área Temática”: Odontologia, cirurgia oral e medicina.

No cruzamento dos descritores “Titanium” e “dental implant” na PUBMED foram encontrados, com os filtros, 1085 publicações, sendo que 1080 foram excluídos. No Scientific Eletronic Library Online (SciELO) com mesmo descritor, no idioma português, apresentou 11 publicações, sendo que 9 foram excluídos.

No cruzamento dos descritores “Titanium” e “biomechanics” na PUBMED foram encontrados, com os filtros, 398 publicações, sendo que 395 foram excluídos. No Scientific Eletronic Library Online (SciELO) com mesmo descritor, no idioma português, apresentou 1 publicação, sendo que 1 foi excluído.

No cruzamento dos descritores “Titanium” e “osseointegration” na PUBMED foram encontrados, com os filtros, 449 publicações, sendo que 445 foram excluídos. No Scientific Eletronic Library Online (SciELO) com mesmo descritor, no idioma português, apresentou 0 publicação.

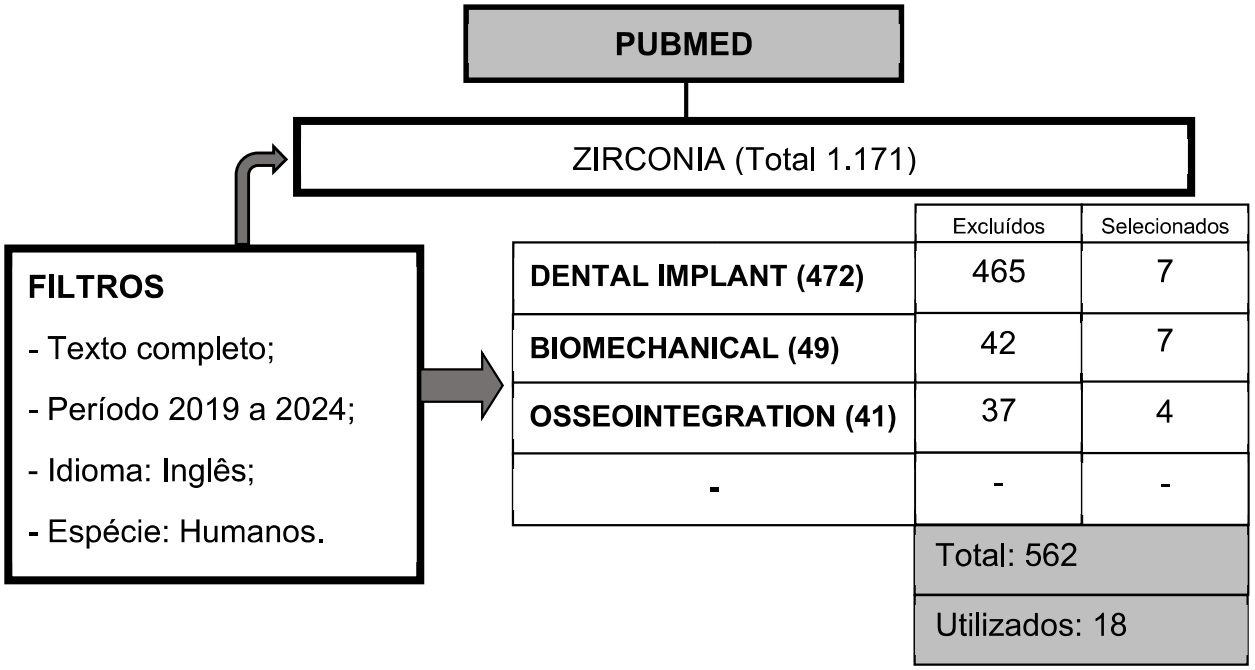
Depois da exclusão dos trabalhos, a amostra utilizando o descritor principal titânio foi constituída, por 14 trabalhos.

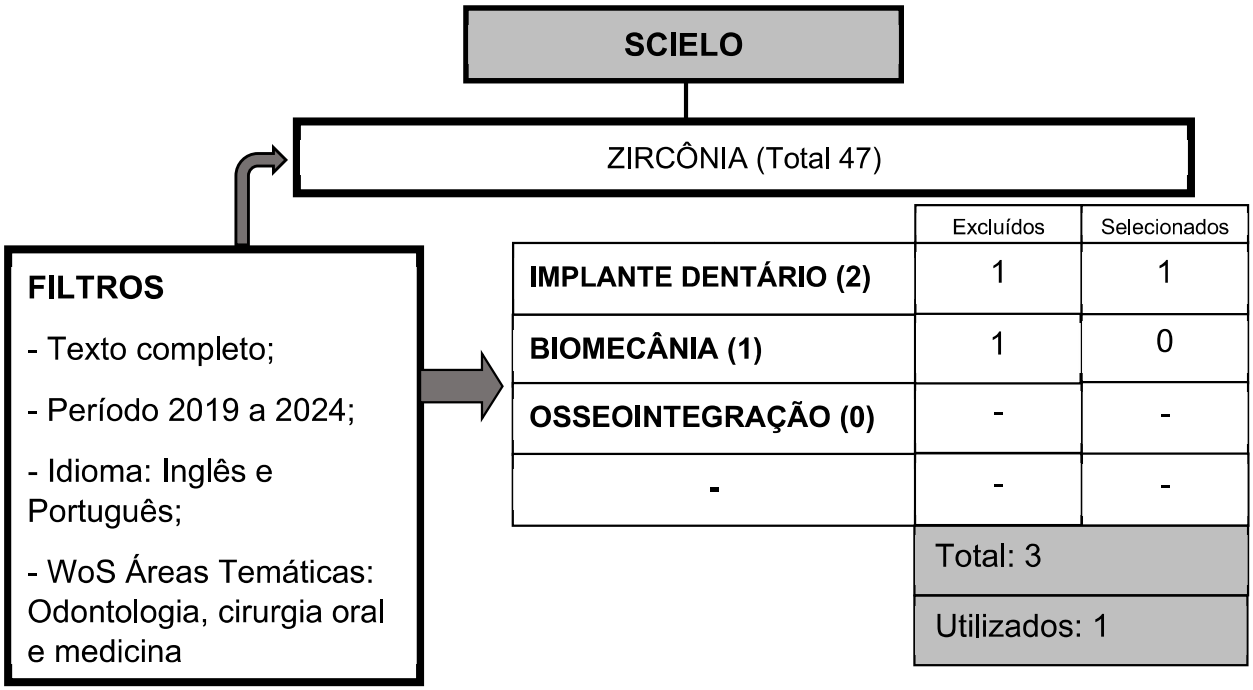
Abaixo, segue o fluxograma ilustrativo que demonstra a descrição de cada etapa realizada para a escolha criteriosa dos títulos selecionados para o estudo (Fluxograma 2).

Após a aplicação dos descritores principais e a análise criteriosa das bases de dados, foi obtido um total de 33 estudos selecionados para compor esta revisão integrativa. Esses trabalhos representam uma combinação de pesquisas que atendem aos critérios de inclusão específicos, abrangendo aspectos relevantes sobre implantes dentários de zircônia e titânio.

A seleção final reflete uma diversidade de abordagens metodológicas, permitindo uma análise aprofundada das evidências mais recentes relacionadas aos aspectos biomecânicos e à osseointegração desses materiais, consolidando uma base teórica para futuras investigações no campo da implantodontia.

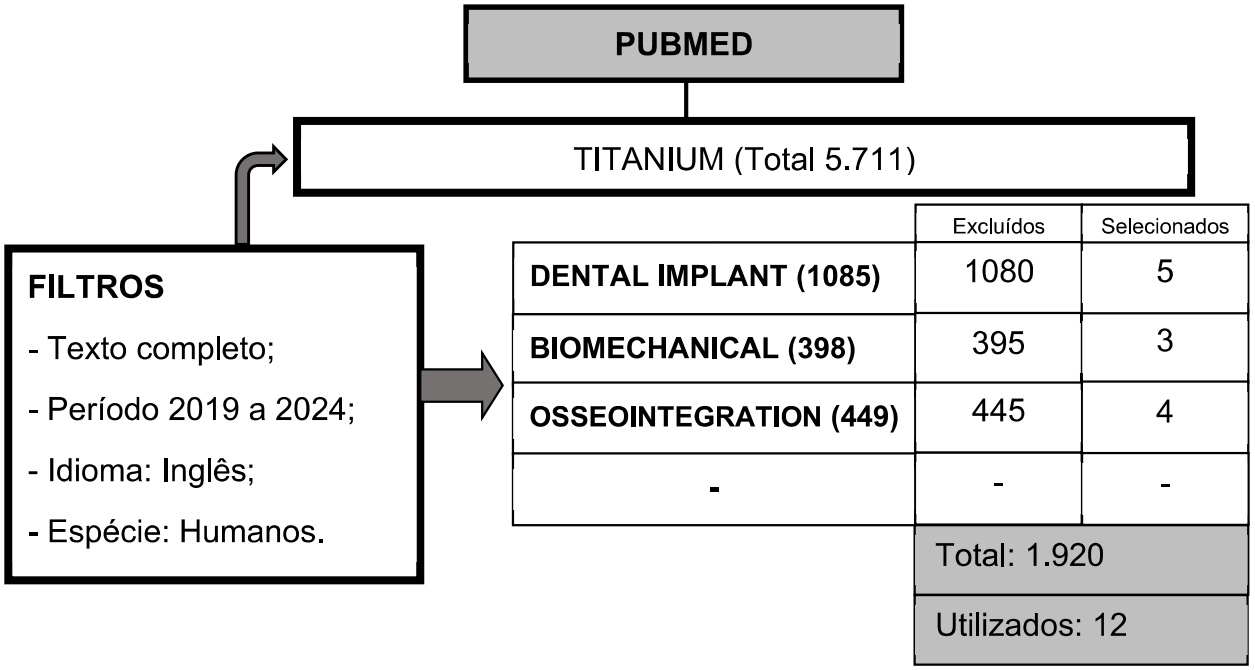
Fluxograma 1 – Etapas dos métodos para seleção dos artigos do descritor principal Zircônia no PUBMED e Scientific Eletronic Library Online (SciELO).

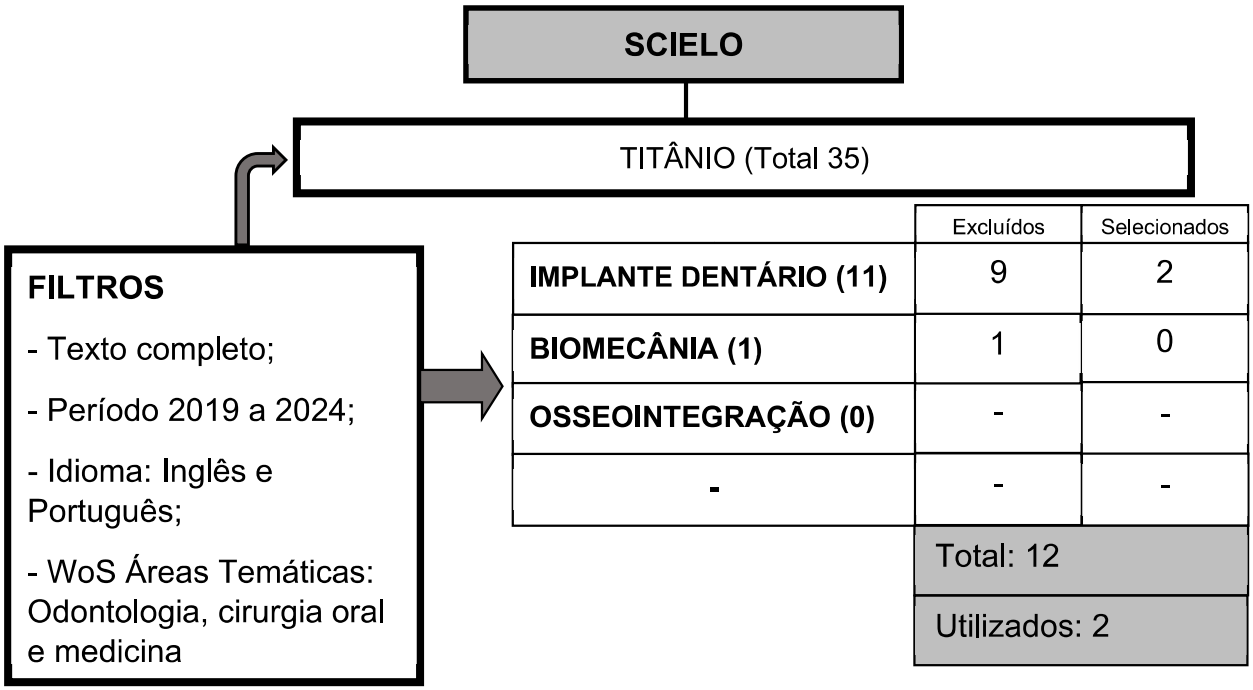




TOTAL DE ARTIGOS SELECIONADOS: 19

Fluxograma 2 – Etapas dos métodos para seleção dos artigos do descritor principal Titânio no PUBMED e Scientific Eletronic Library Online (SciELO).





TOTAL DE ARTIGOS SELECIONADOS: 14

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 ZIRCÔNIA: HISTÓRICO

A zircônia, originalmente descoberta como um mineral em 1892, foi inicialmente utilizada na fabricação de componentes para ônibus espaciais, devido ao seu elevado ponto de fusão, que atinge 2.715 °C. No entanto, um desafio enfrentado com a zircônia sinterizada é que, ao ser resfriada para temperaturas ambientes, há a formação de fissuras em sua estrutura (Hanawa, 2020).

Em 1977, foi desenvolvida a zircônia tetragonal policristalina estabilizada com ítria (Y-TZP), composta por 98% de fase tetragonal, alcançada pela adição de pequenas quantidades de Y2O3. Esse material apresentou a maior resistência mecânica, atingindo 690 MPa, entre as amostras testadas, que variavam de 10% a 98% de dióxido de zircônio (ZrO_2) na fase tetragonal (Gupta et al., 1978).

De acordo com Anusavice, Shen e Rawls (2013), a zircônia tem sido utilizada como biomaterial desde a década de 1970. Durante esse período, ela foi amplamente empregada como alternativa à alumina e ao titânio em próteses de quadril (Manicone; Iommetti; Raffaelli, 2007), além de seu uso em próteses de joelho (Calandruccio; Jobe, 1997) e intervenções na coluna vertebral (Smith; Wimberley; Vaccaro, 2004).

Desde a década de 1990, o óxido de zircônio tem sido utilizado na fabricação de implantes e pilares, devido às suas excepcionais propriedades mecânicas, estéticas e biocompatíveis (Pilathadka; Vahalová; Vosáhlo, 2007).

Desde o início dos anos 2000, os implantes cerâmicos têm sido fabricados com dióxido de zircônio (ZrO_2). Graças às suas propriedades biomecânicas superiores em relação a outras cerâmicas, a zircônia demonstra excelente resistência às forças exercidas na cavidade oral, tornando-se uma opção robusta e confiável para o uso em implantes odontológicos (Silva et al., 2009).

Estudos relatam diversas vantagens biológicas da zircônia em comparação ao titânio e outros metais. Entre elas, destacam-se uma redução significativa na formação de biofilme bacteriano, menor presença de células inflamatórias nos tecidos moles ao redor do implante e uma microcirculação aprimorada, que contribui para minimizar danos nos tecidos peri-implantares (Degidi et al., 2006; Kajiwara et al., 2015; Roehling et al., 2017; Welander, Abrahamsson & Berglundh, 2008).

A história da zircônia e sua aplicação na medicina e odontologia estão resumidas no Quadro 1.

Quadro 1 – História da aplicação da zircônia na medicina

Ano	Material	Eventos e Aplicações	Referência
1892	ZrO^2 mineral	Descoberta do mineral	Audley, 1917
1969	Aplicação na Medicina	Primeiro artigo para uso médico	Helmer E Driskell, 1969
1977	Y-TZP	Melhorando a resistência mecânica	Gupta et al., 1978
1990	Fabricação de Implantes	Implantes e pilares	Pilathadka, 2007

Fonte: adaptado de Hanawa (2020)

4.2 TITÂNIO: HISTÓRICO

O primeiro relatório sobre Titânio comercialmente puro (Ti CP) para medicina foi apresentado em 1940, demonstrando excelente compatibilidade óssea em um teste animal (Hanawa, 2020).

Um processo de fabricação industrial em larga escala de titânio foi alcançado na segunda metade da década de 1940, o que tornou possível conduzir pesquisas consideráveis para aplicações médicas, devido à excelente biocompatibilidade revelada em um teste animal de longo prazo (Williams, 1982).

A história da aplicação de titânio comercialmente puro (Ti CP) e ligas de titânio (ligas deTi) na medicina e odontologia está resumida na Tabela 2.

Na odontologia, o CP Ti tem sido realizado com sucesso como implantes dentários desde 1965 (Semlitsch M; Staub F; Weber H, 1985).

O implante de titânio é um dispositivo médico amplamente utilizado na odontologia devido à sua biocompatibilidade, resistência à corrosão e alta estabilidade mecânica. O titânio, que é o nono elemento mais comum na natureza, forma naturalmente uma camada de óxido (TiO_2) na superfície, promovendo integração com o osso (osseointegração) e minimizando reações adversas nos tecidos. Essa característica o torna especialmente adequado para aplicações em implantes, permitindo uma conexão estável e duradoura com o osso (Barksdale, J. 1968).

Devido à sua alta biocompatibilidade, o titânio é amplamente utilizado tanto na medicina quanto na odontologia, sendo um dos materiais mais confiáveis para implantes. No geral, o titânio é considerado inerte e seguro para uso em seres humanos, apresentando efeitos colaterais mínimos no organismo. Essa compatibilidade com os tecidos biológicos, aliada à sua resistência à corrosão e à sua durabilidade, torna o titânio uma escolha ideal para procedimentos de longa duração e para promover uma osseointegração eficaz (Kotsakis & Olmedo, 2021).

O Quadro 2 apresenta um resumo da trajetória do titânio e de suas aplicações na medicina e odontologia.

Quadro 2 – História da aplicação do titânio na medicina

Ano	Material	Eventos e Aplicações	Referência
1791	Ti no minério	Descoberta minério de Titânio	
1940	Ti Aplicação na Medicina	Confirmação de biocompatibilidade	Bothe, 1940
1960	Titânio	Implantes cirúrgicos no Reino Unido e nos EUA	Williams, 1982
1985	Ti-6Al-7Nb	Desenvolvimento na Suíça	Semlitsch, 1985

Fonte: adaptado de Hanawa (2020).

4.3 ASPECTOS BIOMECÂNICOS ENTRE ZIRCÔNIA E TITÂNIO

A zircônia (dióxido de zircônio) foi incorporada à odontologia na década de 1990, destacando-se por suas propriedades biomecânicas avançadas, que superam as de outras cerâmicas utilizadas na área (Ozkurt, Kazazoğlu, 2010).

De acordo com Andreiotelli, Wenz e Kohal (2009), a zircônia se destaca por sua elevada resistência à fratura e excelente capacidade de tenacidade, atribuídas ao fenômeno da alotropia, que permite o mecanismo de tenacidade por transformação de fase.

Os implantes de zircônia, além de oferecerem propriedades estéticas excepcionais, demonstram biocompatibilidade comparável aos implantes de titânio. Eles também possuem uma menor propensão ao acúmulo de placa bacteriana e

apresentam um módulo de elasticidade reduzido, favorecendo sua integração com os tecidos biológicos. (Depprich et al., 2014).

As propriedades mecânicas e físicas dos implantes de zircônia dependem de sua composição, estrutura cristalina, estabilidade das fases monoclínica e tetragonal, percentual de óxido estabilizador, processo de envelhecimento, design do implante e a carga oclusal aplicada (Sivaraman et al., 2018).

A Y-TZP é reconhecido por apresentar uma elevada resistência à flexão, que pode ser melhorada com modificações na superfície. No entanto, a resistência à fratura de implantes de zircônia de peça só tende a reduzir após a fase de preparo e sob cargas cíclicas (Kohal; Wolkewitz; Tsakona, 2011).

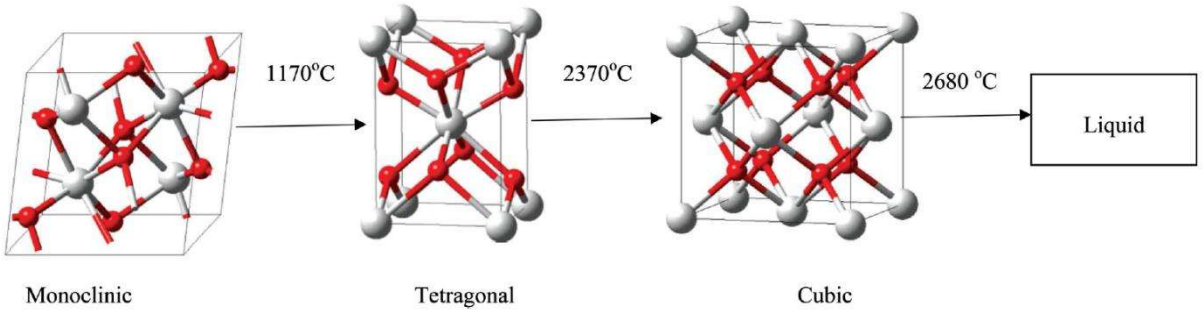
A zircônia é um material metaestável e alotrópico, capaz de assumir diferentes estruturas cristalinas com a mesma composição química. Durante o resfriamento, ela passa por transformações de fase, como a transição de estrutura cúbica para tetragonal (c–t) e de tetragonal para monoclínica (t–m). Essas transformações, conhecidas como "martensíticas", são caracterizadas por serem atérmicas e sem difusão. No caso da transformação de fase tetragonal para monoclínica, ocorre uma expansão volumétrica de aproximadamente 5% (Sorrentino et al., 2019).

Segundo Covacci et al. (1999), a zircônia policristalina tetragonal destaca-se como um material biomédico de excelência devido a suas propriedades únicas. Entre essas, estão a baixa porosidade, alta densidade, resistência à compressão, alta resistência à flexão, além de resistência superior à fratura, desgaste e corrosão. A baixa condutividade térmica também é um fator que contribui para sua aplicação em ambientes médicos e odontológicos.

Adicionalmente, a zircônia apresenta uma estética diferenciada graças à sua coloração branca opaca, que se assemelha ao esmalte dentário, oferecendo uma vantagem estética significativa. Sua biocompatibilidade superior, capacidade de osseointegração eficiente e baixa afinidade com a formação de biofilme bacteriano reforçam sua adequação como um material para implantes dentários. Esses atributos fazem da zircônia um dos compósitos mais promissores no campo da implantodontia moderna.

As três fases polimórficas da zircônia, denominadas monoclínica (m), tetragonal (t) e cúbica (c), estão representadas na Figura 1.

Figura 1 – Ilustração das fases cristalográficas: Monoclínica, Tetragonal e Cúbica.



Fonte: Sorrentino et al. (2019).

À transformação para a fase monoclínica é quando exposta a umidade e tensões, o que representa uma limitação importante para seu uso em implantes dentários. Esse processo de alteração estrutural, conhecido como “envelhecimento”, resulta na degradação progressiva de suas propriedades mecânicas. Esse fenômeno, também referido como "degradação a baixa temperatura" (DLT), ocorre devido à presença de água e outros fluidos, que acabam por induzir micro trincas e reduzir a durabilidade e a resistência do material ao longo do tempo (Suresh et al., 2004).

Essa transformação de fase provoca a atualização das trincas, retardando seu avanço e elevando a tenacidade à fratura. Esse processo é extremamente reconhecido como tenacidade por transformação (Garvie; Hannink; Pascoe, 1975).

A Figura 2 ilustra de forma clara as principais vantagens e desvantagens relacionadas aos implantes de zircônia, destacando os aspectos positivos e os desafios relacionados ao seu uso na prática clínica.

Figura 2 – Ilustração esquemática das vantagens e desvantagens dos implantes de zircônia.



Fonte: adaptado de Webber, Chan e Wang (2021).

Atualmente, o titânio e as ligas de titânio são os materiais mais utilizados na fabricação de implantes e tornaram-se padrão ouro para substituição de dentes em implantodontia dentária. Esses materiais alcançaram uso generalizado devido à sua excelente biocompatibilidade, propriedades mecânicas favoráveis e resultados benéficos bem documentados (Depprich et al., 2008).

Os implantes de titânio são extremamente reconhecidos e utilizados na odontologia, com suas elevadas taxas de sucesso sendo respaldadas por numerosos estudos laboratoriais e clínicos. Contudo, uma das principais limitações desse material é a sua coloração metálica, que pode se tornar visível através dos tecidos moles ou em situações de recessão gengival, comprometendo significativamente a estética da restauração. (Hashim et al., 2016).

O titânio destaca-se como um material altamente resistente à corrosão devido à sua capacidade de formar, de maneira imediata, uma película ultrafina de óxido de titânio ao entrar em contato com moléculas de água em soluções aquosas ou com a umidade do ar. Essa camada protetora de óxido é capaz de se regenerar rapidamente, mesmo quando danificada por arranhões ou outros impactos. Essa autorreparação impede reações diretas do titânio com o ambiente, conferindo-lhe uma aparência de

inatividade química. Essa característica é fundamental para a resistência à corrosão e para a segurança do titânio puro comercial (CP Ti) e de suas ligas em aplicações médicas e odontológicas (Itakura et al., 1989).

O titânio apresenta um módulo de elasticidade (ou módulo de Young) mais próximo ao do osso cortical do que outros metais, o que reduz o risco de "shielding" (proteção excessiva do osso), fenômeno onde o osso adjacente se atrofia por falta de estímulo mecânico adequado. Esse fator ajuda na distribuição de cargas e aumenta a longevidade do implante (Brunette et al., 2001).

A geometria do implante (roscas, comprimento e diâmetro) influencia diretamente a distribuição da carga mastigatória, o que é crucial para evitar sobrecarga nas regiões do osso em contato com o implante. Implantes cônicos e cilíndricos, por exemplo, distribuem as forças de forma distinta, impactando a resistência e durabilidade do implante na maxila ou mandíbula (Anitua, 2010).

Conforme observado por Leyens e Peters (2003), o titânio puro não existe na prática, pois tende a absorver impurezas, como oxigênio, carbono e nitrogênio do ambiente. Com o aumento do grau e da quantidade dessas impurezas, a resistência à tração e o limite de escoamento aumentam, enquanto o alongamento é reduzido.

Diversas ligas foram construídas para uso médico, entre as quais a liga Ti-6Al-4V, do tipo α+β, é a mais amplamente utilizada. Essa liga oferece boa trabalhabilidade, capacidade de tratamento térmico, soldabilidade, além de resistência à corrosão, resistência mecânica e biocompatibilidade (Brunette et al., 2001).

A biocompatibilidade do titânio deve-se em grande parte à sua notável resistência à corrosão, embora essa característica isoladamente não seja suficiente para garantir a compatibilidade com os tecidos biológicos. Por exemplo, mesmo metais altamente resistentes à corrosão, como o ouro (Au), demonstram menor compatibilidade com os tecidos em comparação ao titânio. Além disso, embora o revestimento de titânio puro comercial (CP Ti) com platina por eletrodeposição melhore sua resistência à corrosão, essa modificação pode comprometer a formação óssea, destacando a complexidade de equilibrar resistência química e desempenho biológico nos materiais implantáveis (Itakura et al., 1989).

Uma desvantagem significativa do titânio é sua susceptibilidade à corrosão, que pode levar à liberação de partículas metálicas. Supõe-se que a cavidade oral seja mais propensa à corrosão do titânio em comparação com outras partes do corpo, devido às características específicas do ambiente bucal. Fatores como a presença de

infecções, como gengivite ou periodontite, o uso de cremes dentais contendo flúor, enxaguantes bucais, níveis elevados de glicose e a composição da saliva, que inclui compostos potencialmente corrosivos, como íons cloreto, compostos de sulfeto, hidrogênio, oxigênio dissolvido e radicais livres, podem contribuir para esse processo corrosivo (Barão et la., 2013).

Figura 3 – Ilustração esquemática das vantagens e desvantagens dos implantes de titânio.



Fonte: adaptado de Webber, Chan e Wang (2021).

4.4 COMPARAÇÃO DE OSSEOINTEGRAÇÃO ENTRE ZIRCÔNIA E TITÂNIO

A osseointegração, derivada do latim, significa "tornar ósseo inteiro" e é definida como uma função anquilosante. Nos implantes de titânio e zircônia, esse processo dinâmico envolve duas fases: a estabilidade primária, que ocorre logo após a instalação do implante, sendo puramente mecânica e sem atividade biológica, e a estabilidade secundária, que surge com a deposição de novo tecido ósseo na superfície do implante, resultando em anquilose funcional (Monje et la., 2019).

O conceito de osseointegração foi inicialmente apresentado por Brånemark et al. em 1969 e, posteriormente, definido por Albrektsson et al. como uma "conexão estrutural e funcional direta entre o osso vivo e a superfície de um implante de titânio (Ti) submetido a carga" (Albrektsson et al., 1981). As superfícies usinadas dos implantes dentários marcaram o ponto de partida para sua aplicação clínica, e, desde

então, diversas modificações nas superfícies de Ti têm sido exploradas para otimizar as condições biológicas e aprimorar as propriedades de osseointegração. Por ser um biomaterial de baixa bioatividade, o titânio passou a receber tratamentos de superfície específicos para aumentar sua capacidade de interação com o tecido ósseo (Palmquist et al., 2010).

A osseointegração é um processo biológico dinâmico que envolve o contato direto do tecido ósseo com a superfície do implante, sendo um fator essencial para o sucesso das restaurações implantossuportadas. As propriedades morfológicas e químicas do material do implante desempenham um papel crucial na interação com a interface biológica, influenciando diretamente a eficiência e a velocidade da osseointegração. Os implantes de zircônia têm sido amplamente utilizados devido à sua capacidade de atualização da morfologia e da bioatividade da superfície, promovendo a adesão de osteoblastos e potencializando o processo de osseointegração (Hafezeqoran, Koodaryan., 2017).

A manutenção da osseointegração em próteses implantossuportadas está intrinsecamente ligada a fatores biomecânicos cruciais, especialmente à forma como transferida são transmitidas para o osso ao redor do implante. A distribuição adequada desse custo é fundamental para preservar a estabilidade óssea e evitar complicações, como reabsorção ou falhas estruturais. Dessa forma, o comportamento biomecânico dos implantes prematuros desempenha um papel central, garantindo não apenas a longevidade da osseointegração, mas também o sucesso funcional e estético das reabilitações implantossuportadas (Torcato et al., 2015).

Diversos estudos indicam que os implantes de zircônia apresentam uma osseointegração comparável à dos implantes de titânio, com resultados promissores no contato osso-implante (BIC). Ao comparar o BIC de implantes de zircônia, titânio e alumina, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os três tipos, sugerindo que a zircônia pode ser uma alternativa viável ao titânio para aplicações na implantodontia. Esse dado reforça a potencialidade da zircônia como material de implante, especialmente para casos que requerem uma estética mais aprimorada sem comprometer a estabilidade óssea (Dubruille et al., 1999).

A zircônia demonstrou respostas biológicas similares ao titânio em células semelhantes a osteoblastos durante curtos períodos de cultura celular. A expressão da maioria dos genes associados à adesão celular e sinalização foi comparável entre

os materiais, indicando que a zircônia pode replicar em grande parte as respostas biológicas observadas com o titânio (Gong et al., 2013).

A excelente capacidade de osseointegração do titânio com tecidos ósseos tem sido amplamente confirmada por estudos que avaliam sua interação com o ambiente biológico. A formação de fosfato de cálcio em fluidos corporais simulados, essencial para a adesão óssea, demonstra o potencial do titânio em estimular a calcificação. Além disso, pesquisas sobre a atividade dos osteoblastos evidenciam sua habilidade em promover a regeneração óssea ao redor do implante. Avaliações histológicas e biológicas em modelos animais também apontam resultados positivos, observando-se a formação óssea direta, o aumento da taxa de contato entre osso e implante e uma maior força de ligação óssea, todos aspectos fundamentais para a estabilidade e durabilidade dos implantes de titânio em aplicações clínicas (Hanawa, 2020).

A formação óssea ocorre no período de resposta inflamatória, período de indução dos osteoblastos e período de formação óssea. As superfícies dos implantes de titânio e a reação da interface titânio-osso foram caracterizadas para explicar a importância da morfologia da superfície, molhabilidade e energia para a osseointegração (Shah et al., 2018).

5 DISCUSSÃO

A análise da literatura revela que tanto o titânio quanto a zircônia oferecem excelentes propriedades de osseointegração e são altamente biocompatíveis. Apesar disso, o titânio mantém sua posição de destaque devido à sua superior resistência mecânica e ampla aplicação clínica.

A zircônia, por sua vez, apresenta vantagens significativas em termos de estética, mas enfrenta limitações relacionadas à resistência à fratura. No entanto, avanços tecnológicos, como aprimoramentos nos tratamentos de superfície, podem potencializar a competitividade da zircônia em aplicações que demandam maior resistência mecânica, ampliando seu uso em diversos contextos odontológicos no futuro.

As propriedades biomecânicas dos implantes de zircônia foram comprovadas em diversos estudos experimentais. De modo geral, observou-se que suas taxas de falha precoce tendem a ser mais elevadas quando comparadas aos implantes de titânio. Essa perda inicial dos implantes está, em grande parte, associada à ausência ou insuficiência do processo de osseointegração (Moura et al., 2017).

A estabilidade primária e secundária desempenha um papel crucial no sucesso do implante durante o processo de osseointegração. A estabilidade primária, amplamente determinada pela fixação mecânica obtida durante a instalação do implante, influencia diretamente o desenvolvimento da estabilidade secundária. Esta última é alcançada por meio da resposta biológica do tecido ósseo no período pós-operatório, sendo essencial para a integração efetiva do implante (Hsu et al., 2017).

Quando um implante é inserido, sua estabilidade primária é determinada principalmente por características macroscópicas, como o formato, a presença de roscas e a conicidade. Nas semanas subsequentes à colocação, inicia-se o processo de estabilidade biológica, durante o qual o tecido ósseo começa a se fixar na superfície do implante. A análise histológica do contato osso-implante (BIC) é amplamente utilizada para medir a extensão da superfície do implante que foi integrada ao osso. Dessa forma, o grau de estabilidade observado em implantes osseointegrados reflete, clinicamente, o sucesso do BIC e a osseointegração ideal.

No entanto, conforme observado por Swami et al. (2016), apesar de sua precisão, a análise histológica do BIC é um método invasivo e destrutivo, tornando-se inadequada para avaliações a longo prazo. Nesse contexto, fatores adicionais, como

a configuração mecânica do implante e a resposta biológica do tecido, desempenham um papel ainda mais relevante para uma compreensão abrangente e não invasiva do grau de osseointegração realizada.

Por outro lado, diversas pesquisas apontaram uma preferência pela zircônia em relação ao titânio. Estudos indicam que a cicatrização óssea em torno de implantes de zircônia pode ser relativamente superior quando comparada à observação em implantes de titânio (Mosgau et al., 2000)

Segundo Kohal et al. (2000) diversos estudos têm destacado a superioridade do titânio em relação à osseointegração, quando comparado à zircônia. Embora a zircônia apresente vantagens estéticas, os implantes desse material ainda não são amplamente recomendados na prática clínica devido à insuficiência de evidências científicas que comprovem sua eficácia a longo prazo.

Em comparação com o titânio, a zircônia demonstra um desempenho inferior no processo de osseointegração, o que evidencia a necessidade de aprimoramentos por meio de modificações em sua superfície. O titânio, por sua vez, apresenta uma osseointegração inicial mais acelerada, destacando sua vantagem no estabelecimento de conexões ósseas nas previsões iniciais após a implantação (Roehling et al., 2019).

Embora os títulos apresentem propriedades osseointegrativas superiores à da zircônia, este último pode alcançar um desempenho após passar por tratamentos específicos de superfície. A rugosidade da superfície do implante destaca-se como o fator predominante na promoção e regulação do processo de osseointegração.

Conforme relatado por Elnayef et al. (2017), revisões sistemáticas anteriores concluíram que não há diferenças significativas entre implantes de zircônia e titânio, sejam eles de uma ou duas peças, em termos de contato osso-implante, torque de remoção ou taxas de sobrevivência do implante.

Por outro lado, uma revisão sistemática adicional conduzida pelo mesmo autor em 2017 indicou que implantes de zircônia, tanto de uma quanto de duas peças, apresentaram menores taxas de sobrevivência e maior perda óssea marginal em comparação aos implantes de titânio. No entanto, essa análise não se concentrou exclusivamente em estudos comparativos entre os dois materiais, avaliando apenas as taxas de sucesso e sobrevivência de implantes de zircônia.

Diante disso, a presente revisão busca revisar sistematicamente as evidências mais recentes sobre a sobrevivência e o sucesso de implantes de zircônia em

comparação aos de titânio. O objetivo é fornecer informações relevantes para a prática clínica, considerando não apenas as taxas de sucesso e sobrevivência, mas também os riscos de complicações biológicas e técnicas, além dos resultados estéticos, clínicos e radiográficos. Isso visa orientar os profissionais na escolha adequada dos materiais e suas indicações específicas na odontologia.

Nas últimas quatro décadas, o titânio tem sido amplamente reconhecido como o material preferido para implantes dentários, devido à sua alta taxa de sobrevivência (97,2% em cinco anos e 95,2% em dez anos), além de sua biocompatibilidade, resistência à corrosão e elevada durabilidade (Pjetursson et al., 2012). Contudo, estudos apontaram uma taxa cumulativa de complicações estéticas de 7% em cinco anos para implantes de titânio (Roehling et al., 2019).

A crescente demanda por resultados estéticos, especialmente na região anterior, tem impulsionado a adoção de implantes de zircônia como uma alternativa promissora, especialmente para pacientes com fenótipo gengival fino. Com uma taxa de complicações estéticas próxima de 0%, os implantes de zircônia se destacam como a escolha ideal para reabilitações estéticas na zona anterior (Cannizzaro et al., 2010).

Atualmente, grande parte das investigações científicas não se concentra no desenvolvimento de superfícies antibacterianas e antiadesivas. Essas pesquisas abrangem tanto materiais desenvolvidos para minimizar a adesão bacteriana às superfícies dos implantes quanto aquelas com propriedades antimicrobianas ativas e bem definidas (Valverde et al., 2020).

As superfícies bioativas, por sua vez, destacam-se por promover uma osseointegração mais rápida e de qualidade superior, sendo uma alternativa promissora para enfrentar desafios como a baixa qualidade óssea ou para reduzir os tempos necessários antes da carga protética (Valverde et al., 2020).

Com a constante evolução do mercado de implantes e biomateriais, torna-se essencial que pesquisas futuras enfoquem os implantes de zircônia disponíveis atualmente. Isso permitirá a geração de informações mais relevantes e aplicáveis à prática clínica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das informações contidas neste trabalho, os implantes dentários de titânio e zircônia apresentam características específicas que os tornam adequados para diferentes situações clínicas. As propriedades mecânicas dos implantes de titânio são superiores, garantindo estabilidade a longo prazo, enquanto a zircônia demonstra vantagens estéticas e menor adesão bacteriana, sendo especialmente recomendada para pilares em casos onde a estética é essencial.

A osseointegração inicial do titânio é mais rápida em comparação com a zircônia, mas ambas as opções apresentam capacidades osseointegrativas semelhantes em condições micro rugosas, com integração qualitativa e quantitativa equivalente de tecidos moles peri-implantares. A rugosidade da superfície e a morfologia são fatores determinantes para a osseointegração, mais do que a composição do material em si, e as partículas de zircônia podem melhorar a cicatrização óssea e a resistência ao torque em modificações de superfície de titânio.

Apesar de algumas limitações, como maiores implicações de fraturas e menor suporte em evidências de longo prazo, a zircônia surge como uma alternativa viável em casos onde o titânio não é indicado, incluindo pacientes com histórico de peri-implantite ou quando uma abordagem livre de metal é preferida. No entanto, a alta taxa de sucesso e estabilidade do titânio ainda o torna uma escolha predominante no mercado.

A literatura aponta que os implantes de zircônia ainda são relevantes para estudos clínicos adicionais para validar seu desempenho a longo prazo e determinar os riscos associados. No futuro, é possível que a zircônia se consolide como primeira escolha em casos específicos, mas a decisão clínica deve ser sempre baseada em uma avaliação cuidadosa das vantagens e específicas de cada material, considerando as necessidades individuais de cada paciente.

REFERÊNCIAS

ABDULMAJEED, A. A. et al. Complete-arch implant-supported monolithic zirconia fixed dental prostheses: A systematic review. **J Prosthet Dent**, v. 115, n. 6, p. 672-677, jun. 2016. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26809220>. Acesso em: 22 de set. 2024.

ALI, S. A. et al. Zirconia: Properties and Application - Review. **Pakistan Oral & Dental Journal**, v. 34, n. 1, p. 178-183, mar. 2014. Disponível em: <http://podj.com.pk/archive/March_2014/PODJ-40.pdf>. Acesso em: 20 de ago. 2024.

ALBREKTSSON, T. et al. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. **Acta Orthop Scand.** 1981;52(2):155-70. doi: 10.3109/17453678108991776. PMID: 7246093.

ALSADON, O. et al. Fracture resistance of zirconia-composite veneered crowns in comparison with zirconia-porcelain crowns. **Dent Mater**, v. 36, n. 3, p. 289-295, maio. 2017. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28190816>. Acesso em: 10 de out. 2024.

ALTARAWNEH, S. et al. Dual Jaw Treatment of Edentulism Using Implant-Supported Monolithic Zirconia Fixed Prostheses. **J Esthet Restor Dent**, v. 27, n. 2, p. 63-70, mar./abr. 2015. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25640984>. Acesso em: 10 de out. 2024.

AL-DOHAN, H. M. et al. Shear Strenght of core-veneer interface in bi-layered ceramics. **J. Prosthet. Dent**, v. 91, n. 4, p. 349–355, abr. 2004. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15116036>. Acesso em: 26 de set. 2024.

ANDREIUOLO, R.; GONÇALVES, S. A.; DIAS, K. R. A zircônia na Odontologia Restauradora. **Rev. Bras. Odontol.,** v. 68, n. 1, p. 49-53, jan./jun. 2011. Disponível em: <http://www.revista.aborj.org.br/index.php/rbo/article/view/251> Acesso em: 15 de ago. 2024.

ANDREIOTELLI, M. et al. Are ceramic implants a viable alternative to titanium implants? A systematic literature review. **Clin Oral Implants Res**. 2009 Sep;20 Suppl 4:32-47. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01785.x. PMID: 19663947.

ANUSAVICE, K. J.; SHEN, C.; RAWLS, H. R. Phillips materiais dentários. 12. ed. Rio de Janeiro: **Elsevier**, p. 592, 2013.

BASUA, B.; VLEUGELSB. J.; VAN D. B. O. Microstructure-toughness-wear relationship of tetragonal zirconia ceramics. **J European Ceram Society**, v. 24, n. 7, p. 2031-2040, jun. 2004. Disponivel em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221903003558>. Acesso em: 16 de ago. 2024.

BACHHAV, V. C.; ARAS, M. A. Zirconia based fixed partial dentures: a clinical review. **Quintessence Int**., Berlin, v. 42, n. 2, p. 173-187, feb. 2011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21359252>. Acesso em: 05 de ago. 2024.

BARÃO, V.A. et al. Influence of corrosion on lipopolysaccharide affinity for two different titanium materials. **J Prosthet Dent.** 2013 Dec;110(6):462-70. doi: 10.1016/j.prosdent.2013.04.004. Epub 2013 Oct 22. PMID: 24161259.

BONA, A. D. Adesão às Cerâmicas: evidências científicas para o uso clínico. São Paulo: **Artes Médicas**, p. 5, 14, 2009.

BORGONOVO, A. E. et al. Zirconia implants in esthetic areas: 4-year follow-up evaluation study. **International Journal of Dentistry**, 2015. Disponivel em: <https://www.hindawi.com/journals/ijd/2015/415029/>. Acesso em: 10 de out. 2024.

BRÅNEMARK, P.I. et al. Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. **Scand J Plast Reconstr Surg.** 1969;3(2):81-100. doi: 10.3109/02844316909036699. PMID: 4924041.

BROOME, M. E. Integrative literature reviews for the development of concepts. In: RODGERS, B. L.; CASTRO, A. A. Revisão sistemática e meta-análise. 2006. Disponível em: http://www.metodologia.org/meta1.PDF. Acesso em: 28 ago. 2024.

CANNIZZARO, G. et al. Immediate occlusal versus non-occlusal loading of single zirconia implants. A multicentre pragmatic randomised clinical trial. **Eur J Oral Implantol.** 2010 Summer;3(2):111-20. PMID: 20623036.

CHEVALIER, J. What future for zirconia as a biomaterial? **Biomaterials**, v. 27, p. 535 43, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142961205007039>. Acesso em: 11 de set. 2024.

CHEVALIER, J. et al., The Tetragonal-Monoclinic Transformation in Zirconia: Lessons Learned and Future Trends. **The American Ceramic Society**, v. 92, n. 9, p. 1901-1920, 2009. Disponivel em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1551-2916.2009.03278.x>. Acesso em: 11 de out. 2024.

CHEN, Y. W. et al. Zirconia in biomedical applications, Expert Review of Medical Devices. **Expert Rev Med Devices**, v.13, n. 10, p. 945-963, out. 2016. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27635794>. Acesso em: 26 de set. 2024.

COTTOM, B. A; MAYO, M. J. Fracture toughness of nanocrystal line ZrO2 - mol % Y2O3 determined by Vickers indentation. **Scripta Mater**, v. 34, n. 5, p. 809-814, mar. 1996. Disponivel em: <https://www.researchgate.net/publication/248295658_Fracture_Toughness_of_Nanocrystalline_ZrO2-3_Mol_Y2O3_Determined_by_Vickers_Indentation>. Acesso em: 25 de set. 2024.

DENRY, I.; KELLY, J. R. State of the art of zirconia for dental applications. **Dent. Mater**, v. 24, p. 299-307, 2008. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17659331>Acesso em: 12 out. 2024.

DENRY, I; KELLY, J.R. Emerging ceramic-based materials for dentistry. **J Dent Res**, v. 93, n. 12, p. 1235-1242, dez. 2014. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25274751>. Acesso em: 10 de out. 2024.

DEPPRICH, R. et al. Current findings regarding zirconia implants. **Clin Implant Dent Relat Res**. 2014 Feb;16(1):124-37. doi: 10.1111/j.1708-8208.2012.00454.x. Epub 2012 Mar 30. PMID: 24533568.

DEPPRICH, R. et al. Osseointegration of zirconia implants compared with titanium: an in vivo study. **Head Face Med**. 2008 Dec 11;4:30. doi: 10.1186/1746-160X-4-30. PMID: 19077228; PMCID: PMC2614983.

ELNAYEF, B. et al. Zirconia Implants as an Alternative to Titanium: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Int J Oral Maxillofac Implants**. 2017 May/June;32(3):e125–e134. doi: 10.11607/jomi.5223. Epub 2017 Feb 7. PMID: 28170450.

GONÇALVES, J. U. et al. Reabilitação do arco superior com protocolo cerâmico em infraestrutura de zircônia. **Rev Odontol Bras Central**, v. 24, n. 71. 2015. Disponivel em: <http://www.robrac.org.br/seer/index.php/ROBRAC/article/view/927/823>. Acesso em: 10 de ago. 2024.

GUESS, P. C; ATT, W; STRUB, JR. Zirconia in fixed implant prosthodontics. **Clin Implant Dent Relat Res**, v. 14, p. 633–45, 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21176095>. Acesso em: 15 de ago. 2024.

HAGIWARA, Y; NAKAJIMA, K. Application of Ce-TZP/Al2O3 nanocomposite to the framework of an implant-fixed complete dental prosthesis and a complete denture. **J Prosthodont Res**, v. 60, n. 4, p. 337-343, out. 2016. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26944223>. Acesso em: 10 de out. 2024.

HASHIM, D. et al. A systematic review of the clinical survival of zirconia implants. **Clin Oral Investig**. 2016 Sep;20(7):1403-17. doi: 10.1007/s00784-016-1853-9. Epub 2016 May 24. PMID: 27217032; PMCID: PMC4992030.

KIM, J. H. et al. Evaluation of the color reproducibility of all-ceramic restorations fabricated by the digital veneering method. **J Adv. Prosthodont**, v. 6, n. 2, p. 71-78, abr. 2014. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24843390>. Acesso em: 15 de set. 2024.

HAFEZEQORAN, A. KOODARYAN R. Effect of Zirconia Dental Implant Surfaces on Bone Integration: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Biomed Res Int**. 2017;2017:9246721. doi: 10.1155/2017/9246721. Epub 2017 Feb 16. PMID: 28299337; PMCID: PMC5337335.

HSU, J.T. et al. Impacts of 3D bone-to- implant contact and implant diameter on primary stability of dental implant. **J Formos Med Assoc**. 2017 Aug;116(8):582-590. doi: 10.1016/j.jfma.2017.05.005. Epub 2017 May 24. PMID: 28551316.

ITAKURA, Y. et al. Osteocompatibility of platinum-plated titanium assessed in vitro. **Biomaterials**. 1989 Sep;10(7):489-93. doi: 10.1016/0142-9612(89)90091-4. PMID: 2804237.

KONSTANTINIDIS, I. K. et al. Prospective evaluation of zirconia based tooth- and implant-supported fixed dental prostheses: 3-Year results. **J Dent**, v. 43, n. 1, p. 87-93, jan. 2015. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25446240>. Acesso em: 10 de out. 2018.

KOHAL, R. J. et al. Ceramic abutments and ceramic oral implants. **An update. Periodontol** 2000. 2008; 47:224-43. doi: 10.1111/j.1600-0757.2007.00243.x. PMID: 18412584.

LÓPEZ-VALVERDE, N. et al. Bioactive Surfaces vs. Conventional Surfaces in Titanium Dental Implants: A Comparative Systematic Review. **J Clin Med.** 2020 Jun 29;9(7):2047. doi: 10.3390/jcm9072047. PMID: 32610687; PMCID: PMC7408888.

LUGHI, V.; SERGO, V. Low temperature degradation aging of zirconia: A critical review of the relevant aspects in dentistry. **Dental Materials**, v. 26, p. 807-20, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564110001132>. Acesso em: 20 de nov. 2024.

MANICONE, P. F.; IOMMETTI, P. R.; RAFFAELLI, L. An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications. **Journal of dentistry**, v. 35, p. 819-826, nov. 2007. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17825465>. Acesso em: 20 de out. 2024.

MAINIERI, E. T. Prótese fixa. 2.ed. Porto Alegre: **Evangraf**, p.324. 2002.

MONJE, A. et al. Relationship Between Primary/Mechanical and Secondary/Biological Implant Stability. **Int J Oral Maxillofac Implants**. 2019 Suppl;34:s7-s23. doi: 10.11607/jomi.19suppl.g1. PMID: 31116830.

OZKURT, Z.; KAZAZOGLU. E. Clinical success of zirconia in dental applications. **J Prosthodont**, v. 19, p. 64-68, jan. 2010. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19754642>. Acesso em: 17 de out. 2024.

PAULO, M. et al. All-on-4® treatment concept for the rehabilitation of the completely edentulous mandible: a 7-year clinical and 5-year radiographic retrospective case series with risk assessment for implant failure and marginal bone level. **Clin Implant Dent Relat Res**, v. 17, p.531-41, 2015. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25536438>. Acesso em: 15 de nov. 2024.

PALMQUIST, A. et al. Titanium oral implants: surface characteristics, interface biology and clinical outcome. **J R Soc Interface**. 2010 Oct 6;7 Suppl 5(Suppl 5):S515-27. doi: 10.1098/rsif.2010.0118.focus. Epub 2010 Jun 30. PMID: 20591849; PMCID: PMC2952179.

PANADERO, R. A. et al. Zirconia in fixed prosthesis. A literature review. **Oral Medicine and Pathology**, v. 6, n. 1, p. 66-73, 2014. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3935908/>. Acesso em: 10 de fev. 2024.

PICONI, C.; RIMONDINI, L.; CERRONI, L. Aplicações da zircônia em odontologia. Tijuca. **Revinter**, 2012. n. 218, v. 1.

PIHLAJA, J; NÄPÄNKANGAS, R; RAUSTIA, A. Outcome of zirconia partial fixed dental prostheses made by predoctoral dental students: A clinical retrospective study after 3 to 7 years of clinical service. **J Prosthet Dent**, v. 116, n. 1, p. 40-46, jul. 2016. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26868964>. Acesso em: 10 de out. 2024.

PILATHADKA, S.; VAHALOVÁ, D.; VOSÁHLO, T. The Zirconia: a new dental ceramic material. An overview. **Prague Med Rep**, v. 108, n. 1, p. 5-12, 2007. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17682722>. Acesso em: 25 de out. 2024.

PJETURSSON, B. E. et al. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years. **Clin Oral Implants Res**. 2012 Oct;23 Suppl 6:22-38. doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02546.x. PMID: 23062125.

RAMESH, T. R. et al. Zirconia ceramics as a dental biomaterial – An over view. **Trends Biomater. Artif. Organs**, Thiruvananthapuram, v. 26, n. 3, p. 154-160, July 2012. Disponivel em: <https://www.researchgate.net/publication/233933980_Zirconia_Ceramics_as_a_Dental_Biomaterial_-_An_Over_view>. Acesso em: 15 de dez. 2024.

ROEHLING, S. et al . A Retrospective Clinical Study with Regard to Survival and Success Rates of Zirconia Implants up to and after 7 Years of Loading. **Clin Implant Dent Relat Res**. 2016 Jun;18(3):545-58. doi: 10.1111/cid.12323. Epub 2015 Mar 19. PMID: 25801578.

ROEHLING, S. et al. Zirconia compared to titanium dental implants in preclinical studies-A systematic review and meta-analysis. **Clin Oral Implants Res**. 2019 May;30(5):365-395. doi: 10.1111/clr.13425. Epub 2019 Apr 16. PMID: 30916812.

SCHULTZE-MOSGAU, S. et al. Osseointegration of endodontic endosseous cones: zirconium oxide vs titanium. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod**. 2000 Jan;89(1):91-8. doi: 10.1016/s1079-2104(00)80022-0. PMID: 10630949.
SHAHMIRI, R. et al. Optical properties of zirconia ceramics for esthetic dental restorations: A systematic review. **J Prosthet Dent**, v. 119, n. 1, p. 36-46, jan. 2018. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28927925>. Acesso em: 10 de out. 2024.

Swami, V. et al. Current trends to measure implant stability. **J Indian Prosthodont Soc.** 2016 Apr-Jun;16(2):124-30. doi: 10.4103/0972-4052.176539. PMID: 27141160; PMCID: PMC4837777.

TORCATO, L. B. et al. Influence of parafunctional loading and prosthetic connection on stress distribution: a 3D finite element analysis. **J Prosthet Dent**. 2015 Nov;114(5):644-51. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.04.018. Epub 2015 Jul 14. PMID: 26187105.

VIGOLO, P. et al. An in vitro evaluation of titanium, zirconia, and alumina procera abutments with hexagonal connection. **Int. J. Oral Maxillofac Implants**, v. 21, n. 4, p. 575–580, jul./ago. 2006. Disponivel em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16955608>. Acesso em: 25 de set. 2024.

VOLPATO, C. A. M. et al. Application of zirconia in dentistry: biological, mechanical and optical considerations. In: Sikalidis, C. (Ed). Advances in Ceramics - electric and magnetic ceramics, **bioceramics, ceramics and environment**, [S.l.]: InTech. Cap. 17, 2011. Disponivel em: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-ceramics-electric-and-magnetic-ceramics-bioceramics-ceramics-and-environment/application-of-zirconia-in-dentistry-biological-mechanical-and-optical-considerations>. Acesso em: 21 de ago. 2024.

WELANDER, M; ABRAHAMSSON, I; BERGLUNDH, T. The mucosal barrier at implant abutments of different materials. **Clin Oral Implants Res**, v. 19, n. 7, p. 635–641, jul. 2008. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18492075>. Acesso em: 25 de set. 2024.

YOSHIMURA, M. et al. Role of water on the degradation process of Y-TZP. **Journal of Materials Science Letter**, v. 6, p. 465-7, 1987. Disponivel em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-0743-0_67>. Acesso em: 02 de ago. 2024.