



CESPU

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

PEEK Vs Titânio em estruturas sobre implantes - Uma revisão integrativa

Eduardo Rodríguez Arajol

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

Gandra, 24 de maio de 2022



CESPU

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

Eduardo Rodriguez Arajol

Dissertação conducente ao Grau de Mestre em Medicina Dentária (Ciclo Integrado)

PEEK Vs Titânio em estruturas sobre implantes - Uma revisão integrativa

Trabalho realizado sob a Orientação de Professor Doutor António Correia Pinto

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Eu, acima identificado, declaro ter atuado com absoluta integridade na elaboração deste trabalho, confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri a qualquer forma de falsificação de resultados ou à prática de plágio (ato pelo qual um indivíduo, mesmo por omissão, assume a autoria do trabalho intelectual pertencente a outrem, na sua totalidade ou em partes dele). Mais declaro que todas as frases que retirei de trabalhos anteriores pertencentes a outros autores foram referenciadas ou redigidas com novas palavras, tendo neste caso colocado a citação da fonte bibliográfica.

APRESENTAÇÃO PÚBLICA

08 de abril de 2022: Apresentação nas XXX Jornadas Científicas de Medicina Dentária sob a forma de Poster com o título **“Titânio Vs PEEK: Estruturas sobre implantes”** (Arajol E., Pinto A., Coelho C.)



AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Fidel e Meritxell; a minha irmã Carolina; a minha namorada Raquel e em especial a minha Yaya...OBRIGADO, pois sem o vosso apoio e ânimo não estaria onde estou. Aos meus colegas da turma e amigos Javier, Romina, Lorena e Marga, foram todos companheiros de batalha durante 5 anos tão intensos.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Correia Pinto e a minha coorientadora Mestre Carolina Coelho por sua orientação na realização deste trabalho.

Agradeço a Universidade CESPU por me oferecer esta grande oportunidade.

RESUMO

INTRODUÇÃO:

O titânio é um dos materiais mais utilizados para a fabricação de estruturas implanto-suportadas devido à sua biocompatibilidade e propriedades mecânicas adequadas. Recentemente, o PEEK foi introduzido como alternativa devido ao seu reduzido peso, resistência adequada e propriedades químicas e físicas semelhantes ao osso humano.

OBJETIVO:

O objetivo principal deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática integrativa sobre PEEK Vs Titânio em estruturas sobre implantes.

MATERIAIS E MÉTODOS:

Pesquisa de artigos científicos em *PubMed* (*National Library of Medicine*), utilizando combinações das palavras-chave: *"titanium"; "polymer"; "abutments, dental"; "biomechanics"; "dental prosthesis design"; "dental prostheses, implant supported"* restrita aos últimos 10 anos.

RESULTADOS:

Seleção de 21 artigos após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

DISCUSSÃO:

PEEK apresenta menor resistência à fratura que o Titânio e as cargas oblíquas e distais resultam em maior stress. Os pilares PEEK podem ser utilizados na região anterior da maxila. O material dos pilares influenciou a força e tipo de fratura do material restaurador. As estruturas em titânio apresentam menor adesão às facetas do que em PEEK. PEEK reduziu tensões aplicadas em si mesmo. A rugosidade superficial foi menor para PEEK do que em titânio, assim como a formação de biofilme.

CONCLUSÃO:

A transmissão de tensões ao complexo protético e tecidos periimplantares é inversamente proporcional ao módulo elástico do material. Materiais mais rígidos como o titânio apresentam melhores propriedades mecânicas, nomeadamente em áreas posteriores e cantiléver. A biocompatibilidade de PEEK e titânio foi similar, apresentando reações tecidulares aceitáveis, mas a estética do polímero foi superior.

Palavras-chave: *titanium; polymer; abutments, dental; biomechanics; dental prosthesis design; dental prostheses, implant supported.*

ABSTRACT

INTRODUCTION:

Titanium is one of the most used materials for the fabrication of implant-supported structures due to its biocompatibility and adequate mechanical properties. Recently, PEEK was introduced as an alternative due to its light weight, adequate strength and chemical and physical properties similar to human bone.

OBJECTIVE:

The main objective of this work was to carry out an integrative systematic review on PEEK Vs Titanium in implant structures.

MATERIALS AND METHODS:

Search for scientific articles in PubMed (National Library of Medicine), using combinations of keywords: "titanium"; "polymer"; "abutments, dental"; "biomechanics"; "dental prosthesis design"; "dental prostheses, implant supported" restricted to the last 10 years.

RESULTS:

Selection of 21 articles after applying the inclusion and exclusion criteria.

DISCUSSION:

PEEK has lower fracture strength than Titanium and oblique and distal loads result in greater stress. PEEK abutments can be used in the anterior region of the maxilla. The material of the abutments influenced the strength and type of fracture of the restorative material. Titanium frameworks have less adhesion to veneers than PEEK frameworks. PEEK reduced stresses applied to itself. Surface roughness was lower for PEEK than titanium, as was biofilm formation.

CONCLUSION:

The transmission of stresses to the prosthetic complex and peri-implant tissues is inversely proportional to the elastic modulus of the material. Stiffer materials such as titanium have better mechanical properties, namely in posterior and cantilever areas. The biocompatibility of PEEK and titanium was similar, showing acceptable tissue reactions, but the aesthetics of the polymer was superior.

Keywords: titanium; polymer; abutments, dental; biomechanics; dental prosthesis design; dental prostheses, implant supported.

ABREVIATURAS E SIGLAS

- **PEEK**: Poliéter éter cetona
- **RPEEK**: Poliéter éter cetona reforçado
- **PEKK**: Poliéter cetona cetona
- **Cp-Ti**: Titânio puro
- **TiAl6V4**: Titânio-6 alumínio-4 vanádio
- **MNGC**: Células gigantes multinucleadas
- **CAD**: desenho assistido por computador
- **CAM**: fabricação assistida por computador
- **BioHPP**: *Bio - High Performance Polymer*
- **CCP**: Protocolo convencional de limpeza de superfícies
- **RCP**: Método de limpeza protótipo de várias etapas
- **HGF**: Fibroblastos gengivais humanos

ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE	I
APRESENTAÇÃO PÚBLICA.....	III
AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT.....	VIII
ABREVIATURAS E SIGLAS	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS	3
4. RESULTADOS	5
5. DISCUSSÃO.....	11
5.1 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO PEEK E DO TITÂNIO	11
5.2 APLICAÇÃO DO PEEK E DO TITÂNIO EM PILARES	12
5.3 APLICAÇÃO DO PEEK E DO TITÂNIO EM ESTRUTURAS.....	13
5.4 APLICAÇÃO DO PEEK E DO TITÂNIO EM PARAFUSOS, BARRAS E CLIPS	15
5.5 BIOCOMPATIBILIDADE E ESTÉTICA DO PEEK E DO TITÂNIO.....	15
5.6 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	18
6. CONCLUSÃO	19
7. BIBLIOGRAFIA	20

INDICE TABELAS

TABELA 1.....	8
---------------	---

INDICE FIGURAS

FIGURA

1.....	6
--------	---

1. INTRODUÇÃO

A implantologia demanda cada vez maior exigência e restaurações com melhor qualidade estética e que consigam preservar os tecidos periimplantares.⁽¹⁾

Até este momento, o titânio é o material mais utilizado já que apresenta altas taxas de sucesso pois as suas propriedades mecânicas e de biocompatibilidade estão altamente contrastadas na literatura sendo considerado como o *gold standard*.^(2, 3)

No entanto, a sua cor é uma grande desvantagem em termos estéticos, especialmente nos biótipos gengivais finos ou com profundidade de perfil de emergência inadequados.^(3, 4) Além disso, a sua capacidade de corrosão e degradação faz com que se torne menos estético⁽⁴⁾ e até causar reações inflamatórias.⁽⁵⁾

O PEEK foi utilizado pela primeira vez nos anos 80 para fins industriais (Feldman, 1986) mas na medicina a sua aplicação chega mais tarde (Cook & Rust-Dawicki, 1995) mostrando propriedades biomecânicas favoráveis assim como resistência á degradação biológica⁽⁶⁾. Sendo um polímero semicristalino de alto rendimento, apresenta uma alternativa as estruturas de metal e zircônio, com propriedades não corrosivas.⁽⁷⁾

A sua radiolucidez pode ser modificada e permite melhor imagem radiográfica dos tecidos periimplantares, pode ser esterilizado e irradiado devido à sua estabilidade a temperaturas superiores a 300°C. A sua rigidez, semelhante ao osso cortical, pode aliviar o stress excessivo dirigido sobre os implantes e fornecer menor reabsorção e atrofia por desuso, própria de materiais com grande rigidez, por conter todo o stress gerado pela carga recebida, deixando o tecido ósseo com a mínima ou nenhuma tensão. É leve, flexível e resistente à fratura. Tem boa relação custo-eficiência e pode ser "processado" na cavidade oral. O PEEK pode mudar as suas propriedades sendo alterado com diversos materiais como os recheios nanocerâmicos ou o carbono que aumentam a sua resistência, mas oferecendo sempre um módulo elástico menor se comparado com o titânio.^(2, 7-9)

Devido à sua elevada biocompatibilidade, tem sido usado para fazer implantes, pilares provisórios, pilares de cicatrização e outras estruturas implanto-suportadas.^(9, 10)

O PEEK surge como uma alternativa ao titânio com propriedades físicas superiores ou iguais ao titânio. A literatura comparativa entre o titânio e o PEEK não é especialmente extensa o que justifica a escolha deste tema de forma a obter um conhecimento mais profundo dos materiais utilizados na fabricação das estruturas implanto-suportadas de elevada qualidade.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta tese foi realizar uma revisão sistemática integrativa sobre o tema PEEK Vs Titânio em estruturas sobre implantes.

Objetivos secundários:

- Comparar as propriedades mecânicas e de biocompatibilidade dos dois materiais, PEEK e Titânio
- Identificar vantagens e desvantagens, do PEEK e do titânio, como elementos protéticos.

Colocamos a seguinte questão:

“Podem os polímeros substituir o titânio na reabilitação oral?”

H0: As estruturas PEEK podem substituir em qualquer caso as confeccionadas em titânio.

H1: As estruturas PEEK não podem substituir em qualquer caso as confeccionadas em titânio.

3. MATERIAIS E METÓDOS

A pesquisa e seleção de estudos nesta investigação foi baseada nas seguintes bases de dados: *PubMed* (via National Library of Medicine).

Foram utilizadas as seguintes combinações de palavras-chave para a seleção dos artigos científicos relevantes para a resposta ao objetivo do estudo e o seu âmbito: *(Titanium) AND (polymers); (Titanium) and (polymers) AND (dental prostheses, implant supported); (Titanium) AND (polymers) AND (dental prosthesis design); (Titanium) AND (polymers) AND (biomechanics); (Titanium) AND (polymers) AND (abutments, dental); ((titanium) and (polymers)) AND ((abutments, dental) OR (biomechanics) OR (dental prosthesis design) OR (dental prostheses, implant supported)); ((titanium) OR (polymers)) AND ((abutments, dental) OR (biomechanics) OR (dental prosthesis design) OR (dental prostheses, implant supported))*.

Pesquisa Pubmed	Resultados
<i>(Titanium) AND (polymers)</i>	3,166
<i>(Titanium) and (polymers) AND (dental prostheses, implant supported)</i>	88
<i>(Titanium) AND (polymers) AND (dental prosthesis design)</i>	113
<i>(Titanium) AND (polymers) AND (biomechanics)</i>	106
<i>(Titanium) AND (polymers) AND (abutments, dental)</i>	82
<i>((titanium) and (polymers)) AND ((abutments, dental) OR (biomechanics) OR (dental prosthesis design) OR (dental prostheses, implant supported))</i>	272
<i>((titanium) OR (polymers)) AND ((abutments, dental) OR (biomechanics) OR (dental prosthesis design) OR (dental prostheses, implant supported))</i>	7356

Os critérios de inclusão foram:

- Artigos publicados na língua inglesa no intervalo de 2012-2022.
- Artigos com resumos relevantes para este trabalho.
- Artigos com texto completo.

Os critérios de exclusão foram:

- Artigos que não cumpriram os critérios de inclusão.
- Artigos anteriores a 2012.
- Artigos que não estavam no âmbito deste tema.
- Artigos que não mostraram relevância após análise detalhada.
- Artigos de revisão integrativa e sistemática.

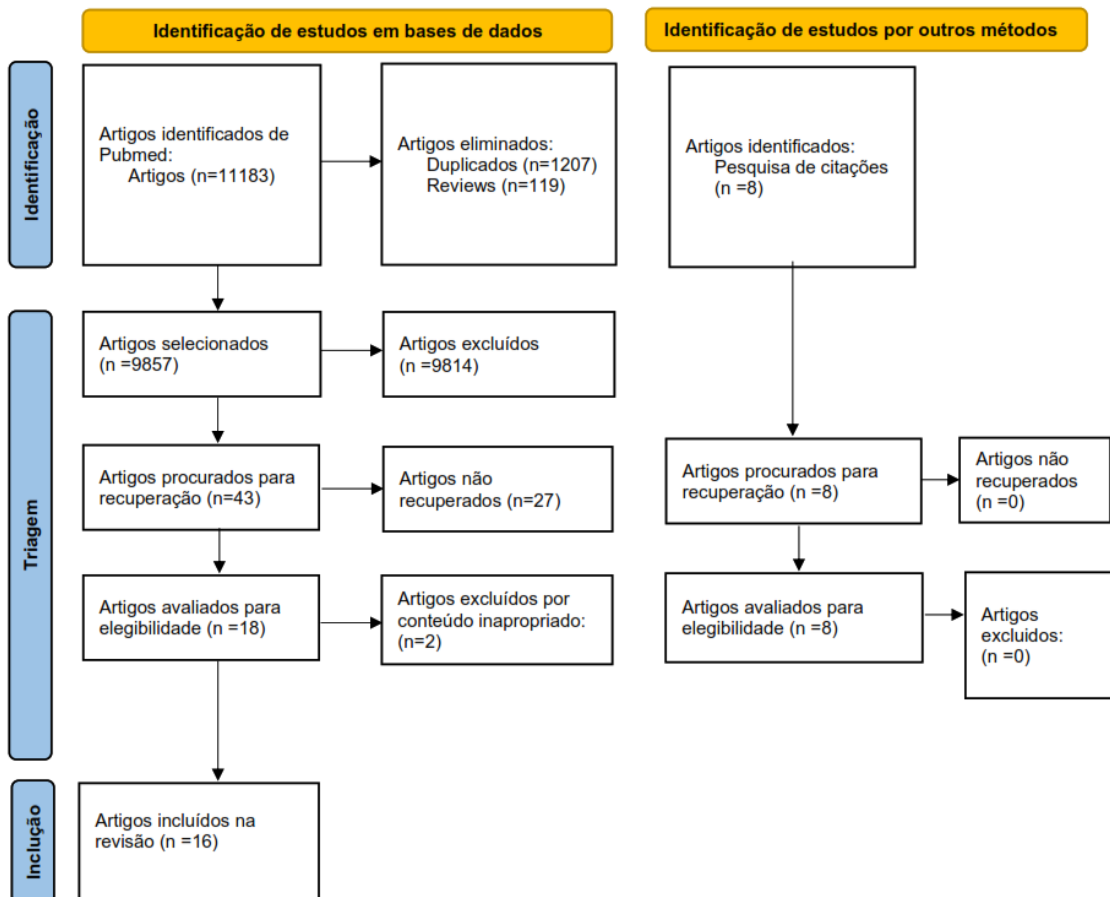


P	Pacientes com necessidade de estruturas sobre implantes
I	Uso de estruturas fabricadas em PEEK
C	Uso de estruturas fabricadas em titânio
O	Como afeta um módulo elástico menor que os tecidos e estruturas? Melhora a biocompatibilidade e a estética com os polímeros

4. RESULTADOS

FLUXOGRAMA DE PESQUISA BIBLIOGRAFICA

FIGURA 1 – Fluxograma de pesquisa bibliografia



Dos 16 artigos selecionados são 2 *in vivo* dos quais 1 é um reporte de caso e o outro um estudo prospectivo; e 14 *in vitro* dos quais 6 são análise de elementos finitos, 4 estudos comparativos e 4 estudos prospectivos.

Todos os artigos antes do ano de 2012 foram eliminados, bem como quaisquer duplicados usando a função "remove duplicados" do *Endnote citation manager*, descartando revisões sistemáticas e obtendo 9857 artigos na pesquisa Pubmed. Foram selecionados por título compatível 43 artigos, dos quais 18 foram selecionados para leitura completa e posteriormente, 2 foram eliminados por conteúdo inapropriado. Assim, 16 artigos foram selecionados para a inclusão no trabalho.

Ao mesmo tempo, foram incluídos, mediante pesquisa manual, **8** artigos compatíveis com este tema.

Deste modo o trabalho é fundamentado num total de **16** artigos. O Diagrama de fluxo da estratégia de pesquisa está representado na figura 1.

Os estudos selecionados foram resumidos indicando como critérios:

- Autor e ano
- Tipo de estudo
- Objetivo
- Componente protético
- Conclusões e resultados

Após a leituras dos artigos selecionados foi possível extrair os seguintes resultados:

- Os polímeros apresentam um menor módulo elástico do que o titânio e menor resistência a fratura pelo que os parafusos em PEEK não são recomendados.⁽¹¹⁻¹³⁾
- Os polímeros podem reduzir o stress sobre si mesmos mas o titânio, sendo um material mais rígido, parece ser mais benéfico tanto para os tecidos periféricos como para pilares, parafusos ^(12, 14)
- Os pilares, barras e clips em polímero podem ser utilizados na área anterior, mas não se recomenda na posterior.⁽¹⁴⁾
- As estruturas poliméricas apresentam propriedades físicas inferiores ao titânio^(13, 15), mas a aderência às facetas e maior e a cor do PEEK oferece mais estética.^(2, 13)
- A rugosidade superficial foi mais baixa para pilares em PEEK do que em titânio, assim como a formação de biofilme^(5, 16). O tratamento de superfícies com plasma permitiram melhores resultados na biocompatibilidade.⁽¹⁷⁾

As seguintes informações foram retiradas para esta revisão: Autores/ano de publicação, tipo de estudo, objetivos, componente protético e resultados/ conclusões.

(tabela 1):

AUTORES/ANO	TIPO DE ESTUDO	OBJETIVO	COMPONENTE PROTÉTICO	RESULTADOS / CONCLUSÕES
Santing, H. J. <i>et al.</i> (2012)	<i>In vitro</i>	Avaliar a força da fratura das coroas de resina composta sobre pilares PEEK e pilares temporários de titânio sólido implanto-suportados, e para analisar os tipos de falha.	Pilares PEEK Pilares Titânio	<ul style="list-style-type: none"> • Coroas de resina composta em pilares PEEK mostraram média significativamente menor da força de fratura em comparação com pilares temporários de titânio para incisivos centrais. • Para outros locais na zona estética da maxila, não foram encontradas diferenças significativas entre as forças da fratura em PEEK e pilares de titânio.
Neumann, E. A. F. <i>Et al.</i> (2014)	<i>In vitro</i>	Comparar a resistência à fratura de parafusos para pilares de titânio, PEEK e PEEK reforçado com fibra de carbono (30%), usando pilar hexagonal externo tipo UCLA.	Parafuso PEEK Parafuso PEEK reforçado Parafuso Titânio	<ul style="list-style-type: none"> • Os parafusos de pilares PEEK tinham menor resistência à fratura, comparando com os de titânio. • Não há diferença significativa PEEK e o PEEK reforçado com fibra de carbono.
N. Kaleli <i>et al.</i> (2017)	<i>In vitro</i>	Avaliar o comportamento biomecânico de pilares personalizados PEEK em termos de distribuição de stress em implantes e osso periférico.	Pilares PEEK Pilares Titânio	<ul style="list-style-type: none"> • A carga oblíqua resultou em elevados valores de stress nos componentes do implante, coroa e osso cortical. • As distribuições de stress no implante e osso periférico eram semelhantes em todos os modelos. • Alterações na restauração e material de pilar personalizado não afetaram a distribuição de stress no implante e osso periférico.
Al-Rabab'ah, M. <i>et al.</i> (2019)	<i>In vivo</i>	Avaliar viabilidade <i>in vivo</i> de estruturas e pilares em PEEK.	Pilares/estruturas PEEK Pilares/estruturas Titânio	<ul style="list-style-type: none"> • Vantagens PEEK: <ul style="list-style-type: none"> ○ Permite uma melhor ligação ○ Pilar mais fácil de preparar intraoralmente. ○ Aparência mais natural. ○ A radiolucência permite encontrar cimento remanescente. • Desvantagens: <ul style="list-style-type: none"> ○ A junção adesiva pode conter vazios. ○ A radiolucência pode limitar a capacidade de avaliar ajuste. • Melhorar a ligação entre facetas/coroas e o PEEK permitirá a utilização deste material como restauração permanente e pode reduzir a necessidade de futuras reparações.

Atsü, S. S. <i>et al.</i> (2019)	<i>In vitro</i>	Comparar as resistências à fratura e os tipos de fratura de titânio, zircônio e PEEK em pilares que suportam coroas de dissilicato monolítico de lítio (CAD/CAM) após carga dinâmica e envelhecimento térmico.	Pilares PEEK Pilares Titânio Pilares RPEEK	<ul style="list-style-type: none"> Resistência à fratura significativamente mais alto no grupo titânio. Falhas ocorreram geralmente devido à fratura do parafuso no grupo titânio e da coroa no grupo RPEEK. Os pilares PEEK têm potencial de suportar as forças oclusais anteriores máximas, e também apresentavam bons padrões de fratura.
Barkarmo, S. <i>et al.</i> (2019)	<i>In vitro</i>	Comparar a formação de biofilme de espécies bacterianas orais importantes sobre PEEK, PEEK jateado com dióxido de alumínio, titânio puro (cp-Ti) e titânio-6 de alumínio-4 vanádio (Ti6Al4V).	Discos PEEK Discos Titânio	<ul style="list-style-type: none"> O PEEK pode atuar tão bem como cp-Ti ou TiAl6V4 quando utilizado como material restaurador dentário. A adesão bacteriana foi semelhante em PEEK, cp-Ti e Ti6Al4V. PEEK jateado com dióxido de alumínio, com uma superfície mais áspera, mostrou aumento de formação de biofilme por <i>S. sanguinis</i>, <i>S. oralis</i> e <i>S. gordonii</i>.
Caballé-Serrano, J. <i>et al.</i> (2019)	<i>In vivo</i>	Comparar a resposta do tecido mole aos parafusos de cicatrização em PEEK ou titânio avaliado pela ocorrência de células gigantes multinucleadas (MNGCs).	Parafusos de cicatrização em PEEK e Titânio	<ul style="list-style-type: none"> Menor número de MNGCs em parafusos de titânio do que em PEEK, tanto em tecidos moles como duros demonstrando que o material tem alguma influência.
Jin, H.-Y. <i>et al.</i> (2019)	<i>In vitro</i>	Avaliar e comparar a força de ligação de PEEK modificado (BioHPP) e titânio com uma resina composta para <i>veneers</i> e comparar o ajuste marginal e resistência à fratura das próteses aparafusadas sobre implantes.	Estruturas PEEK Estruturas Titânio	<ul style="list-style-type: none"> A fratura das facetas aconteceu em 100% das estruturas em titânio. A fratura das estruturas PEEK aconteceu no 100% dos casos. Força de ligação da BioHPP à resina composta é maior do que no titânio. Estruturas CAD/CAM BioHPP apresentaram um bom ajuste marginal e resistência à fratura. BioHPP pode ser uma alternativa adequada ao metal como estrutura para facetas em compósito.
S. Tekin <i>et al.</i> (2019)	<i>In vitro</i>	Comparar as tensões que ocorrem no osso peri-implantar, implantes, coroas, pilares e parafusos após carga através de FEA utilizando PEEK como alternativa ao titânio.	Pilares e parafusos PEEK Pilares e parafusos em Titânio	<ul style="list-style-type: none"> As tensões no parafuso foram muito mais baixas nos grupos de pilares em titânio do que em PEEK. O stress no sistema de implante pode ser alterado com o uso de diferentes materiais protésicos.
A. Elkabbany <i>et al.</i> (2020)	<i>In vitro</i>	Avaliar a mudança na retenção de novas combinações metálicas e não metálicas para retentores	Retentor telescópico e coroa PEEK Retentor telescópico e coroa Titânio	<ul style="list-style-type: none"> Para PEEK-PEEK e Ti-PEEK houve um ligeiro aumento inicial de retenção que foi parcialmente significativo.

		telescópicos em sobredentaduras implanto-suportadas.		<ul style="list-style-type: none"> Os retentores telescópicos resultaram em níveis aceitável e fiáveis de retenção tanto para PEEK como para titânio, aumentando significativamente nos primeiros 1000 ciclos de inserção. Estudos clínicos a longo prazo são necessários para apoiar a utilização do PEEK.
V. Rutkunas <i>et al.</i> (2020)	<i>In vitro</i>	Comparar o efeito de dois protocolos de limpeza de superfícies de polímeros avaliando rugosidade superficial, hidrofília e proliferação de células de fibroblasto gengival humano (HGF) utilizando titânio e zircónio como controlos positivos.	Pilares PEEK/PEKK Pilares Titânio	<ul style="list-style-type: none"> A proliferação do HGF mostrou uma tendência a aumentar ao longo do tempo para ambos os protocolos de limpeza. Após 72 h, a viabilidade celular tende a ser maior para materiais limpos com CCP do que com RCP a partir deste momento, mas a diferença não foi estatisticamente significativa. O protocolo de limpeza de superfície de materiais poliméricos pode influenciar significativamente a aspereza, o ângulo de contacto e a proliferação de fibroblastos.
P. H. W. Tretto <i>et al.</i> (2020)	<i>In vitro</i>	Avaliar o stress/tensão no implante/pilares dentários com materiais alternativos, em implantes com microgeometria diferente, através da análise de elementos finitos (FEA).	Pilares PEEK Pilares Titânio	<ul style="list-style-type: none"> O stress/tensão no tecido ósseo peri-implante foi em geral inversamente proporcional ao módulo elástico do material do implante. Os pilares PEEK levam a maior concentração de stress no implante e tecido ósseo periimplantar mas fornecem menor stress no próprio pilar. Os materiais avaliados influenciam o comportamento biomecânico dos pilares. Os pilares menos rígidos (RFC e PEEK) associados aos implantes de titânio mostraram uma tendência de maior concentração de stress no implante e no tecido ósseo periimplantar comparado com materiais mais rígidos.
R. F. Villefort <i>et al.</i> (2020)	<i>In vitro</i>	Avaliar a resposta mecânica das próteses obturadoras implanto-retidas com sistema de clip-barra, em diferentes materiais.	Barra/clip PEEK Barra/clip Titânio	<ul style="list-style-type: none"> No caso do tecido ósseo e da barra, a rigidez do material foi inversamente proporcional à micro-tensão calculada e ao stress. Independentemente da região de carga, o PEEK pode ser sugerido como material de estrutura para reduzir a tensão óssea em torno dos implantes e a concentração de stress na barra. O uso do PEEK aumenta o risco do desaperto dos parafusos protésicos e até mesmo de fratura em comparação com ligas metálicas.
S. Abou-Ayash <i>et al.</i> (2021)	<i>In vitro</i>	Investigar a veracidade dos fresados CAD/CAM e ajuste marginal de próteses implanto-suportadas de arco completo (CAFISP) em PEEK,	Estruturas PEEK/ Estruturas Titânio	<ul style="list-style-type: none"> maior veracidade estatisticamente significativa dos polímeros depois de CAM. A diferença entre estruturas PEEK para os casos apresentados não foi significativa para os pilares.

		PEKK e titânio sobre quatro implantes.		<ul style="list-style-type: none"> • En quanto aos <i>gaps</i> marginais, houve diferenças significativas enquanto a localização do pilar, mas não para o material do pilar. • A veracidade das estruturas PEEK, PEKK e titânio foi diferente depois da fresagem. • PEEK tinha a maior veracidade. No entanto, o ajuste marginal das estruturas era similar e menor do que 90 µm em média.
S. C. Dayan <i>et al.</i> (2021)	<i>In vitro</i>	Comparar os padrões de distribuição de stress de quatro materiais (titânio, zirconia, PEEK e PEKK) utilizados para a estrutura das próteses All-on-4.	Estruturas PEEK Estruturas Titânio	<ul style="list-style-type: none"> • Os valores máximos de stress no osso cortical foram encontrados com estruturas PEKK e PEEK em torno dos implantes dentários posteriores após a carga oblíqua • Estruturas de materiais rígidos como zirconia e titânio em próteses All-on-4 reduz o stress nos implantes dentários e no osso peri-implante quando os implantes distais são inclinados 30°
M. Gheisarifar <i>et al.</i> (2021)	<i>In vitro</i>	Avaliar a viabilidade e a adesão dos fibroblastos gengivais humanos (HGFs) em diferentes materiais de implante com modificações específicas da superfície.	Discos PEEK Discos Titânio	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento a laser não parece ter um efeito significativo na composição superficial do PEEK. • Os grupos PEEK tratados com plasma mostraram uma proliferação significativamente maior do que todos os outros grupos experimentais. • PEEK modificado com plasma apresenta melhores resultados que titânio ou titânio modificado com laser, aumentando proliferação de HGF. • As superfícies de titânio e PEEK modificadas a laser permitiram uma adesão de HGF melhorado comparado com superfícies sem modificar por laser. • Os componentes PEEK podem ser uma melhor escolha clínica em áreas de desafio estético.

TABELA 1- Dados relevantes recolhidos dos estudos recuperados

5. DISCUSSÃO

O titânio e o PEEK nas suas aplicações sob a forma de estrutura, pilar, parafuso e outras, apresentam diferentes propriedades químicas e físicas que se traduzem em diferentes comportamentos nos tecidos, na biocompatibilidade e na estética.

5.1 Propriedades físico-químicas do PEEK e do Titânio

As estruturas e pilares são geralmente fabricados a partir de titânio puro uma vez que tem propriedades de biocompatibilidade e mecânicas bem documentadas. No entanto, a cor metálica pode transparecer através da mucosa e prejudicar os resultados estéticos ocorrendo uma aparência azulada subgingival e não natural nos tecidos moles.⁽¹¹⁾ Além disso, também apresentam corrosão, degradação e alergias.⁽¹³⁾

Como alternativa, o PEEK é um termoplástico não homogêneo semi-cristalino de alto impacto que apresenta um dos maiores ratios força/peso de entre os polímeros, elevadas propriedades físicas e químicas, é hipoalergénico, resistente à abrasão, sem reações galvânicas nem corrosão, elevada estabilidade térmica e dimensional e é possível realizar ressonâncias magnéticas. Além disso, pode ser melhorado com a incorporação de fibras de carbono incrementando assim a estabilidade dimensional, dureza, força de flexão e resistência ^(9, 11-13, 18).

A análise radiográfica permite verificar o ajuste protético, mas o PEEK é um material radiolúcido que dificulta esta verificação^(2, 18) mas a adição de partículas radiopacas tais como o sulfato de bário ao material pode solucionar esta desvantagem.^(9, 18)

O módulo elástico dos polímeros é similar ao osso (4 GPa) e menor ao dos metais. Esta característica permite absorver parte das forças mastigatórias, limitando a dissipação das mesmas no osso periimplantar cervical e reduzindo a perda óssea marginal peri-implante causada pela sobrecarga oclusal e eventual falha de próteses implanto-suportadas ^(9, 11-13, 18). A sua maior elasticidade também pode reduzir a reabsorção e atrofia por desuso, característico de materiais rígidos como o titânio, por falta de estímulo mecânico ^(2, 14). Outros autores advertem que o stress/tensão no tecido ósseo peri-implante é em geral, inversamente proporcional ao módulo elástico do material do implante, mostrando baixa e limitada eficiência do efeito de absorção de choques característico dos materiais PEEK ^(14, 15).

5.2 Aplicação do PEEK e do titânio em Pilares

O sucesso estético não depende apenas da prótese em si, mas é em grande parte determinado pela aparência dos tecidos moles periféricos e a gestão dos mesmos sendo objetivos estéticos difíceis de alcançar. ⁽¹⁹⁾

A prótese provisória, ferramenta essencial para a estética, tem um papel chave pois permite que o tecido se desenvolva mais rapidamente e sugere a forma gengival definitiva que poderá ser modificada no curso de uma série de visitas clínicas até que o perfil de emergência desejado seja alcançado ⁽¹⁹⁾. Destacam-se os pilares PEEK pois são mais fáceis de preparar intraoralmente do que o titânio, já que a dureza do polímero é inferior à do metal. Também é um meio de comunicação eficaz entre o laboratório e a clínica e permite avaliar as expectativas estéticas do paciente. ^(2, 9)

Em todo momento devemos ter em conta que as forças fisiológicas de mordida podem variar de 10 a 120 N durante a mastigação ou deglutição de alimentos e as forças oclusas máximas na área do incisivo foram reportadas a variar entre 150-300 N e 90-370 N. ^(5, 11)

No estudo de Atsü S. S. *et al.*, indicam que a força média a fratura foi de $787,8 \pm 120,9$ N para o titânio e $602,93 \pm 121$ N para o Grupo RPEEK, demonstrando que existem diferenças significativas. Os pilares PEEK têm potencial de suportar as forças oclusais anteriores máximas. ⁽¹¹⁾

Estes resultados estão de acordo com outros autores, os pilares de resina PEEK também mostraram menores valores de resistência à fratura do que em titânio ^(12, 19), e as coroas de resina composta mostraram uma força média da fratura de 95 ± 21 a 486 ± 34 N sobre pilares PEEK e de 387 ± 23 a 1.009 ± 94 N sobre pilares de titânio. ^(1, 19)

Não foi observada fratura de pilares nem em titânio nem em PEEK, pelo que ambos podem ser indicados para temporários ⁽¹⁾. Devemos fazer a escolha do pilar em função da duração da etapa "provisória" escolhendo o titânio frente ao PEEK se o tratamento for superior a 3 meses. ⁽¹⁹⁾ Tal como Agustin-Panadero *et al.* assinalam no seu estudo, indicando que os pilares de PEEK são recomendados quando a prótese fixa provisória vai permanecer na boca 1-3 meses; nos casos a médio prazo (3-6 meses), é recomendado pilar de titânio provisório ou pilares definitivos rotacionais; para períodos extensos (6-12 meses), o pilar anti-rotacional de titânio definitivo é o mais indicado. ⁽¹⁹⁾

No caso dos pilares definitivos, não foram encontradas diferenças significativas na resistência a fratura entre PEEK e titânio para outros locais na zona estética da maxila

podendo ser o PEEK uma alternativa viável.^(1,9) Em geral, os tipos de falha irreparáveis eram mais comuns do que os reparáveis, sendo o mais habitual o desaperto do parafuso.⁽¹⁾

N. Kaleli *et al.* desaconselha os pilares PEEK na região posterior, caracterizada por ter uma maior concentração de forças, e para pacientes com hábitos parafuncionais pois o stress na coroa de restauração pode aumentar.⁽⁴⁾

A literatura parece indicar que os pilares PEEK proporcionam menos stress no pilar em si mesmo, transmitindo maior stress ao implante, parafuso e tecido ósseo peri-implante do que o titânio.^(4, 9, 14, 20)

Sendo reforçada esta ideia pelo estudo de A. Elsayed *et al.*, onde afirma que os pilares titânio mostraram maior resistência à fratura do que em PEEK, no entanto, os valores de resistência do polímero foram maiores às forças fisiológicas mastigatórias máximas registadas na zona molar, concluindo que desde uma perspectiva de estabilidade da restauração, são clinicamente mais benéficos os pilares rígidos.⁽³⁾

5.3 Aplicação do PEEK e do titânio em Estruturas

A função da estrutura é a ferulização dos implantes em conjunto permitindo uma distribuição homogénea do stress da estrutura para os implantes. Os materiais não-poliméricos, como o titânio, mostraram os resultados mais favoráveis em termos de distribuição do stress na região peri-implante e os implantes e pilares mais distais concentraram mais stress. Os materiais poliméricos (PEEK) podem levar a um braço de alavanca maior devido a uma maior deformação permitida pelo menor módulo elástico, levando a um maior stress nos implantes mais distais. Neste sentido, uma estrutura rígida pode ajudar a melhorar a distribuição de stress, pois apesar do efeito de amortecimento dos materiais poliméricos, verificou-se que a diminuição do stress ocorreu na estrutura em detrimento de um aumento de forças na região do osso trabecular. Com tudo, o PEEK mostrou uma elevada concentração de stress periimplantar ao contrário das estruturas em titânio que não mostraram valores críticos de stress, e as tensões observadas no osso cortical estavam dentro dos limites fisiológicos com uma larga margem de segurança pelo que desde o ponto de vista biomecânico as estruturas em titânio demonstraram resultados mais favoráveis em próteses mandibulares fixas implanto-suportadas ^(21, 22).

Considerando que as próteses de arco completo sobre implantes são um tratamento de elevado êxito, tendo como material de referência o titânio, Jin H.-Y. *et al.*, verificou que a

complicação mais comum nas mesmas é a fratura das facetas ou *chipping*, sendo mais habitual em titânio do que em PEEK pois a força de ligação do BioHPP à resina composta é maior do que no titânio ⁽¹³⁾ mostrando resultados similares no caso de utilizar coroas de porcelana já que o stress transmitido da superestrutura às restaurações cerâmicas foi menor. ⁽⁹⁾

O ajuste deve ser avaliado também pois a desadaptação das estruturas pode levar a complicações técnicas como desaperto ou fratura do parafuso e imprecisões oclusais. Considerando a literatura que um bom ajuste clínico é atingido quando o valor é menor a 120 μm ^(7, 13, 23), foi comprovado que as subestruturas PEEK apresentaram valores marginais significativamente mais elevados do que as subestruturas em titânio, mas ambas estão dentro dos valores aceitáveis. Verificou-se também que todos os sistemas de fabricação, tanto CAD/CAM (sinterizados e fresados) como meios convencionais, atingiram valores que cumprem os padrões de aceitabilidade clínica, mas foi achada uma relação entre a dureza do material e a aparição de *gaps* sendo mais habituais nos materiais mais duros como o titânio. ^(7, 23)

Resumindo, as estruturas em CAD/CAM BioHPP apresentaram um bom ajuste marginal, resistência à fratura e menor risco de *chipping*, podendo ser consideradas uma alternativa adequada ao metal como estrutura para facetas em compósito. ⁽¹³⁾

No caso dos sistemas retentivos telescópicos em PEEK, os resultados foram promissores pelo que também poderia ser uma alternativa ao titânio no caso de utilizar esta solução protética pois o polímero pode ser aplicado como retentor primário, secundário, ou ambos, já que a retenção foi incrementada após 10.000 ciclos de inserção/separação. ⁽⁵⁾

Para S. C. Dayan *et al.*, a utilização das estruturas poliméricas resultou num aumento de stress de 10 a 20% no parafuso protésico sob carga axial e oblíqua em comparação com estruturas de titânio. Foi comprovado que a carga oblíqua causou mais stress do que a carga axial na região anterior, isto é, na região mesial de todas as estruturas. Pelo contrário, a carga axial causou maior stress do que a carga oblíqua no lado posterior ou distal. Estas tensões mantiveram-se abaixo dos limites dos materiais, mas o estudo achou que as estruturas com materiais rígidos como o titânio em comparação com polímeros semirrígidos (PEEK e PEKK) reduz o stress em componentes protéticos, implantes e osso peri-implante em próteses fixas maxilares All-on-4 quando os implantes distais são inclinados 30°. ⁽¹⁵⁾

5.4 Aplicação do PEEK e do titânio em parafusos, barras e clips

A falha do parafuso em titânio foi frequentemente observada durante a carga dinâmica em geral, o que poderia indicar que é o componente mais frágil do complexo protético.⁽¹¹⁾ Esta e outras complicações, tais como o desaperto do parafuso, podem ser causados por aumento excessivo das tensões nesse mesmo parafuso com o uso de pilar PEEK, pois tendo um menor módulo elástico, vai permitir maior flexão.⁽⁹⁾

Os parafusos em PEEK apresentam menor resistência à fratura em comparação com parafusos em titânio, mas falta por confirmar se diferentes desenhos e tamanhos ou diferentes métodos de fabricação, podem melhorar as propriedades mecânicas.⁽¹²⁾

Villefort *et al.* considerou que os clips em PEEK podem prevenir a fratura da base protética mais eficazmente do que os metálicos devido à menor concentração de stress observada em torno das ancoragens fabricados com o polímero.

A barra fresada em PEEK sugere um melhor desempenho mecânico para o tecido ósseo com baixa possibilidade da indesejada reabsorção óssea independentemente da região de carga. O PEEK pode ser sugerido como material de estrutura para reduzir a tensão óssea em torno dos implantes e a concentração de stress na barra. No entanto, reforça a ideia de que o uso do PEEK aumenta o risco de ocorrer o desaperto de parafusos protéticos e até mesmo fratura dos mesmos em comparação com ligas metálicas.⁽⁸⁾

5.5 Biocompatibilidade e estética do PEEK e do Titânio

Na medicina dentária é importante utilizar materiais que sejam esteticamente semelhantes à cor dos dentes, e a cor cinzenta do titânio causa reflexo da gengiva, especialmente nos biótipos mais finos. Embora o titânio seja controverso, também em termos de suscetibilidade à corrosão e à hipersensibilidade (0,6% dos pacientes), é o primeiro material preferido na implantologia e o *gold standard*. No entanto, resultados ótimos não vão ser atingidos quando a estética seja a máxima prioridade.^(5, 9, 11)

Em contrapartida, PEEK oferece prevenção de reações alérgicas, boa capacidade de polimento que vem acompanhada de baixa retenção de placa e uma aparência mais natural.⁽¹¹⁾

Sendo um material biologicamente inerte, é adequado para doentes com alergia metálica ou suscetibilidade ao sabor metálico, não existindo evidências dos efeitos do material sobre citotoxicidade, mutagenicidade, carcinogenicidade, e sistema imunológico.^(9, 11)

No seu estudo, S. Hahnel *et al.* relata que existem diferenças significativas na formação de biofilmes multiespécies entre os diferentes materiais após 20 h, sendo identificada menor quantidade de biomassa viável aderente na superfície de PEEK, que foi significativamente mais baixo do que no titânio. Após 44 h não foram identificadas diferenças significativas na viabilidade celular entre os diferentes materiais.⁽⁹⁾

No estudo de Caballé-Serrano J. *et al.*, MNGCs estiveram presentes em todas as superfícies investigadas, mas em menor número em tampas titânio do que PEEK tanto em tecidos moles como duros demonstrando que o material tem alguma influência. Há que assinalar que o sistema de fecho foi diferente não sendo roscado em PEEK, mas sim de pressão, podendo estar acompanhado de um pior ajuste que levou às tampas PEEK a desencadear um número significativamente maior de MNGCs na sua superfície em comparação com as tampas de fecho titânio.⁽¹⁸⁾

Enquanto a superfície, Barkarmo S. *et al.*, poderia confirmar que a rugosidade da mesma teve um impacto na adesão bacteriana a estes materiais, pois as superfícies menos lisas oferecem maior área e proporcionam refúgio. Foi comprovado também que maior energia superficial permite maior molhabilidade o que leva a maior aderência bacteriana, mas sempre vai depender da hidrofobicidade/hidrofilia da espécie.

Tanto a composição, que envolve mecanismos quimio-mecânicos complexos, como a rugosidade do material, influenciam a molhabilidade e é difícil determinar qual é o mais influente, mas todo parece indicar que a rugosidade tem um papel mais relevante. Com tudo, a adesão bacteriana foi semelhante tanto em PEEK como em titânio⁽⁶⁾ ainda que outros autores comprovaram que a rugosidade superficial foi mais baixa para pilares em PEEK do que em titânio, assim como a formação de biofilme.^(5, 16)

Rutkunas *et al.*, comparou dois protocolos de limpeza, resultando que o protocolo de limpeza de superfície de material baseado em polímeros pode influenciar significativamente a aspereza, o ângulo de contacto e a proliferação fibroblastos em materiais a base de polímeros. A rugosidade superficial mais baixa resultou com um RCP e foi mais alta quando o CCP foi aplicado. A RCP mostrou uma tendência para reduzir a hidrofilia das superfícies materiais baseadas em polímeros e favoreceu significativamente

a proliferação de HGF nas superfícies do PEKK após 48 h por outro lado, CCP resultou numa maior variabilidade nas características da superfície.⁽²⁴⁾

O tratamento superficial, avaliado no estudo de M. Gheisarifar *et al*, verifica que as superfícies de titânio e PEEK modificadas com laser conduziram a uma adesão de fibroblastos gengivais melhorado quando comparado com superfícies sem modificar por laser. O tratamento de PEEK com plasma aumentou a capacidade deste polímero melhorando a proliferação de HGF mesmo acima do titânio até o terceiro dia para finalmente não mostrar diferenças significativas no sétimo dia. Os componentes PEEK podem ser uma melhor escolha clínica em áreas de desafio estético e também apresenta uma resposta biológica adequada, são necessários mais estudos, *in vivo*, destes materiais.⁽¹⁷⁾

5.6 Vantagens e desvantagens

	PEEK	TITÂNIO
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • A cor permite maior mimetismo pelo que pode ser uma alternativa na região anterior onde as forças são menores. ^(3, 4) • A adesão das facetas em compósito sobre o BioHPP é superior do que no titânio. ⁽¹³⁾ • Não existe corrosão nem reações alérgicas. ^(3, 4) • Módulo elástico conveniente no caso de ser utilizado com clips. ⁽⁸⁾ • Os pilares podem ser modificados intraoralmente. ^(2, 9) 	<ul style="list-style-type: none"> • O seu elevado módulo elástico parece ser mais benéfico para os tecidos, especialmente nas regiões posteriores ou distais e nas áreas de suporte comprometido (cantiléver). ^(21, 22)
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • A sua flexibilidade aumenta a possibilidade de desaperto e mesmo o risco de fratura de parafusos. ⁽⁹⁾ • O módulo elástico menor tem efeitos indesejados nas áreas posteriores e cantiléver. ⁽²¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> • A cor metálica, suscetibilidade ao sabor metálico e corrosão parecem ser os principais pontos fracos do titânio. ^(9, 11) • Ainda que baixa, apresenta reações alérgicas numa percentagem da população. ^(5, 9, 11) • A sua dureza impede a modificação de pilares ou estruturas na cavidade oral. ^(2, 9) • A adesão de facetas em compósito é significativamente menor aos polímeros. ⁽¹³⁾

6. CONCLUSÃO

Dos artigos selecionados para esta revisão sistemática integrativa da literatura sobre o tema “PEEK Vs Titânio em estruturas sobre implantes - Uma revisão integrativa”, foram extraídas as seguintes conclusões:

- As propriedades mecânicas do titânio parecem ser superiores em termos gerais, pois sua rigidez característica impede a transmissão de forças desfavoráveis associadas à flexibilidade e módulo elástico menor próprio do PEEK, porém, uma rigidez menor reduz a reabsorção e atrofia por desuso associada a falta de estímulos mecânicos. Sendo superior à resistência à fratura do titânio, PEEK apresenta valores fisiologicamente viáveis e ambos materiais oferecem um ajuste marginal dentro dos valores clínicos aceitáveis, embora aqueles com PEEK tenham sido ligeiramente melhores podendo ser avaliados radiologicamente graças à adição de partículas radiopacas.
- Os pilares PEEK não são recomendados em áreas posteriores e as estruturas em titânio têm melhor comportamento biomecânico, mas a sua aderência as facetas em compósito é menor. Os parafusos em PEEK não são recomendados, mas o módulo elástico inferior do polímero é adequado para barras e clips sempre levando em consideração a recomendação quanto à sua localização.
- A estética e a biocompatibilidade parecem ser os pontos mais notáveis se falarmos do PEEK, já que seu mimetismo é muito melhor devido à sua cor e a reação dos tecidos ao polímero é mais favorável. Além disso, o tratamento de superfície permitiu maior aderência dos HGF no caso do PEEK.

Perante a pergunta **“Podem os polímeros substituir ao titânio na reabilitação oral?”** vai sempre depender do caso, por isso na medicina dentária é sempre de suma importância a análise clínica, uma boa anamnese junto com uma boa planificação antes da tomada de decisões. Por tanto, a hipótese nula deve ser rejeitada pois é necessário realizar um estudo de cada caso concreto para uma ótima escolha dos materiais.

No entanto, mais estudos *in vivo* são necessários por se tratar de um material relativamente novo e deve-se notar que as modificações do PEEK com diferentes elementos como partículas de carbono ou cerâmica oferecem muitas possibilidades para essa gama de materiais.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Santing HJ, Meijer HJ, Raghoobar GM, Özcan M. Fracture strength and failure mode of maxillary implant-supported provisional single crowns: a comparison of composite resin crowns fabricated directly over PEEK abutments and solid titanium abutments. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2012;14(6):882-9.
2. Al-Rabab'ah M, Hamadneh W, Alsalem I, Khraisat A, Abu Karaky A. Use of High Performance Polymers as Dental Implant Abutments and Frameworks: A Case Series Report. *J Prosthodont*. 2019;28(4):365-72.
3. Elsayed A, Yazigi C, Kern M, Chaar MS. Mechanical behavior of nano-hybrid composite in comparison to lithium disilicate as posterior cement-retained implant-supported crowns restoring different abutments. *Dent Mater*. 2021;37(8):e435-e42.
4. Kaleli N, Sarac D, Külünk S, Öztürk Ö. Effect of different restorative crown and customized abutment materials on stress distribution in single implants and peripheral bone: A three-dimensional finite element analysis study. *J Prosthet Dent*. 2018;119(3):437-45.
5. Elkabbany A, Kern M, Elkhadem AH, Wille S, A AA, Chaar MS. Retention of metallic and non-metallic double-crown-retained mandibular overdentures on implants: An in-vitro study. *J Prosthodont Res*. 2020;64(4):384-90.
6. Barkarmo S, Longhorn D, Leer K, Johansson CB, Stenport V, Franco-Tabares S, et al. Biofilm formation on polyetheretherketone and titanium surfaces. *Clin Exp Dent Res*. 2019;5(4):427-37.
7. Abou-Ayash S, Schimmel M, Özcan M, Ozcelik B, Brägger U, Yilmaz B. Trueness and marginal fit of implant-supported complete-arch fixed prosthesis frameworks made of high-performance polymers and titanium: An explorative in-vitro study. *J Dent*. 2021;113:103784.
8. Villefort RF, Tribst JPM, Dal Piva AMO, Borges AL, Binda NC, Ferreira CEA, et al. Stress distribution on different bar materials in implant-retained palatal obturator. *PLoS One*. 2020;15(10):e0241589.
9. Tekin S, Değer Y, Demirci F. Evaluation of the use of PEEK material in implant-supported fixed restorations by finite element analysis. *Niger J Clin Pract*. 2019;22(9):1252-8.
10. Liebermann A, Wimmer T, Schmidlin PR, Scherer H, Löffler P, Roos M, et al. Physicomechanical characterization of polyetheretherketone and current esthetic dental CAD/CAM polymers after aging in different storage media. *J Prosthet Dent*. 2016;115(3):321-8 e2.
11. Atsü SS, Aksan ME, Bulut AC. Fracture Resistance of Titanium, Zirconia, and Ceramic-Reinforced Polyetheretherketone Implant Abutments Supporting CAD/CAM Monolithic Lithium Disilicate Ceramic Crowns After Aging. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2019;34(3):622-30.
12. Neumann EA, Villar CC, França FM. Fracture resistance of abutment screws made of titanium, polyetheretherketone, and carbon fiber-reinforced polyetheretherketone. *Braz Oral Res*. 2014;28.
13. Jin HY, Teng MH, Wang ZJ, Li X, Liang JY, Wang WX, et al. Comparative evaluation of BioHPP and titanium as a framework veneered with composite resin for implant-supported fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent*. 2019;122(4):383-8.

14. Tretto PHW, Dos Santos MBF, Spazzin AO, Pereira GKR, Bacchi A. Assessment of stress/strain in dental implants and abutments of alternative materials compared to conventional titanium alloy-3D non-linear finite element analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2020;23(8):372-83.
15. Dayan SC, Geckili O. The influence of framework material on stress distribution in maxillary complete-arch fixed prostheses supported by four dental implants: a three-dimensional finite element analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2021;24(14):1606-17.
16. Hahnel S, Wieser A, Lang R, Rosentritt M. Biofilm formation on the surface of modern implant abutment materials. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(11):1297-301.
17. Gheisarifar M, Thompson GA, Drago C, Tabatabaei F, Rasoulianboroujeni M. In vitro study of surface alterations to polyetheretherketone and titanium and their effect upon human gingival fibroblasts. *J Prosthet Dent.* 2021;125(1):155-64.
18. Caballé-Serrano J, Chappuis V, Monje A, Buser D, Bosshardt DD. Soft tissue response to dental implant closure caps made of either polyetheretherketone (PEEK) or titanium. *Clin Oral Implants Res.* 2019;30(8):808-16.
19. Agustin-Panadero R, Serra-Pastor B, Roig-Vanaclocha A, Roman-Rodriguez JL, Fons-Font A. Mechanical behavior of provisional implant prosthetic abutments. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2015;20(1):e94-102.
20. Tribst JPM, de Oliveira Dal Piva AM, Borges ALS, Nishioka RS, Bottino MA, Rodrigues VA. Effect of Framework Type on the Biomechanical Behavior of Provisional Crowns: Strain Gauge and Finite Element Analyses. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2020;40(1):e9-e18.
21. Sirandoni D, Leal E, Weber B, Noritomi PY, Fuentes R, Borie E. Effect of Different Framework Materials in Implant-Supported Fixed Mandibular Prostheses: A Finite Element Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019;34(6):e107-e14.
22. Lee KS, Shin SW, Lee SP, Kim JE, Kim JH, Lee JY. Comparative Evaluation of a Four-Implant-Supported Polyetheretherketone Framework Prosthesis: A Three-Dimensional Finite Element Analysis Based on Cone Beam Computed Tomography and Computer-Aided Design. *Int J Prosthodont.* 2017;30(6):581-5.
23. Kayikci O, Ates SM. Comparison of marginal and internal fit of three-unit implant-supported fixed prosthetic substructures fabricated using CAD/CAM systems. *Clin Oral Investig.* 2022;26(2):1283-91.
24. Rutkunas V, Borusevicius R, Liaudanskaite D, Jasinskyte U, Drukteinis S, Bukelskiene V, et al. The Effect of Different Cleaning Protocols of Polymer-Based Prosthetic Materials on the Behavior of Human Gingival Fibroblasts. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(21).