

# **FOLHA DE ROSTO DO RELATÓRIO DE PÓS-DOCTORADO**

**GUILHERME DA ROCHA SCALZER LOPES**

## **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO E SOBREVIVÊNCIA DE COROAS UNITÁRIAS EM ZIRCÔNIA SOBRE PILARES CAD/CAM E IMPLANTES CONFECCIONADOS POR IMPRESSÕES 3D**

Relatório de Pós-doutorado realizado no Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos.

Supervisor: Prof. Dr. Marco Antonio Bottino

São José dos Campos  
2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de São José dos Campos  
Instituto de Ciência e Tecnologia

**GUILHERME DA ROCHA SCALZER LOPES**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO E  
SOBREVIVÊNCIA DE COROAS UNITÁRIAS EM ZIRCÔNIA  
SOBRE PILARES CAD/CAM E IMPLANTES  
CONFECCIONADOS POR IMPRESSÕES 3D**

**GUILHERME DA ROCHA SCALZER LOPES**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO E  
SOBREVIVÊNCIA DE COROAS UNITÁRIAS EM ZIRCÔNIA SOBRE  
PILARES CAD/CAM E IMPLANTES CONFECCIONADOS POR  
IMPRESSÕES 3D**

Tese apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de PÓS-DOCTOR, pelo Programa de Pós-Graduação em ODONTOLOGIA RESTAURADORA.

Área: Prótese Dentária. Linha de pesquisa: Bioatividade em materiais restauradores e Comportamento biomecânico de restaurações indiretas e implantes.

Orientador: Prof. Tit. Marco Antonio Bottino

São José dos Campos

2026

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2026]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Lopes, Guilherme da Rocha Scalzer

Avaliação do comportamento biomecânico e sobrevivência de coroas unitárias em zircônia sobre pilares cad/cam e implantes confeccionados por impressões 3d / Guilherme da Rocha Scalzer Lopes. - São José dos

Campos: [s.n.], 2026.

36 f.: il.

Tese (Pós-Doutorado em Odontologia Restauradora) - Pós-Graduação em Prótese Dentária - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2026.

Orientador: Marco Antonio Bottino

1. Cerâmica. 2. Implantes dentários. 3. Materiais dentários.

I. Bottino, Marco Antonio, orient. II. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. IV. Universidade Estadual Paulista (Unesp). V. Título.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 PROPOSIÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Objetivo Específico.....</b>	<b>10</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Confeção dos corpos de prova .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Análise de superfície com Microscopia Eletrônica de Varredura .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Análise de Difração de Raio-X .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4 Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS) .....</b>	<b>15</b>
<b>3.5 Análise de Carga Máxima para Fratura.....</b>	<b>16</b>
<b>3.6 Análise da Sobrevivência em Fadiga .....</b>	<b>16</b>
<b>3.7 Análise Fractográfica.....</b>	<b>18</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Análise de superfície com Microscopia Eletrônica de Varredura .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Análise de Difração de Raio-X .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Análise por Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS) .....</b>	<b>20</b>
<b>4.4 Carga Máxima para Fratura.....</b>	<b>21</b>
<b>4.5 Análise da Sobrevivência em Fadiga Acelerado.....</b>	<b>22</b>
<b>4.6 Análise Fractográfica.....</b>	<b>25</b>
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>36</b>

Lopes GRS. Avaliação do comportamento biomecânico e sobrevivência de coroas unitárias em zircônia sobre pilares cad/cam e implantes confeccionados por impressões 3D [tese]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, 2026.

## RESUMO

Avaliar o comportamento em fadiga e a confiabilidade de dois tipos de pilares CAD/CAM utilizadas para restaurações suportadas por implantes unitárias. Foram utilizados implantes fabricados por manufatura aditiva com conexão cônica interna (4 x 10 mm; Plenum, Jundiaí, SP, Brasil). Metade dos implantes recebeu pilares Ti-base, enquanto a outra metade recebeu pilares Plenum patenteados (ambos Ø 4,5 x 1 mm). Coroas de zircônia foram fresadas e cimentadas sobre os pilares. Espécimes representativos foram caracterizados por EDX, XRD e MEV. Dezoito espécimes por grupo foram submetidos a testes de sobrevivência acelerados por estresse gradual (15 Hz) por meio de aplicação de carga de 30 graus fora do eixo, utilizando três perfis de carga: leve, moderada e agressiva até a falha ou suspensão. A carga de falha e o número de ciclos foram utilizados para calcular curvas de probabilidade de nível de uso, valores beta de fadiga e confiabilidade para missões de 100.000 ciclos a 50 e 100 N, seguidas de análise do modo de falha. Os resultados da caracterização confirmaram que a liga era composta de titânio, alumínio e vanádio, sem fase  $\beta$ . As imagens SEM mostram uma superfície rugosa, porém uniforme. Nos testes de fadiga, os valores de  $\beta$  ( $> 1$ ) sugeriram falhas devido ao acúmulo de danos por fadiga. Considerando os limites inferiores de  $\beta$  ( $< 1$ ), a análise Weibull de dois parâmetros foi conduzida (IC de 95%), não revelando diferenças significativas em relação ao módulo entre os grupos. No entanto, os pilares Ti-base apresentaram maior resistência (140,2 N [134,9-145,7]) em comparação aos pilares Plenum (99,2 N [93,4-105,2]). Para simulações a 50 N, ambos os grupos apresentaram alta confiabilidade ( $\geq 99\%$ ). A 100 N, a confiabilidade dos pilares Plenum diminuiu significativamente (25%), enquanto o grupo à base de Ti permaneceu acima de 99%. A avaliação do modo de falha revelou que os espécimes de Ti-base falharam no pilar ou no parafuso do pilar, enquanto todas as falhas no grupo Plenum envolveram o conjunto pilar-parafuso. Os pilares Ti-base apresentaram maior resistência e confiabilidade do que os pilares Plenum. No entanto, ambos os pilares sobre implantes impressos em 3D apresentaram alta confiabilidade para forças mastigatórias fisiológicas na região anterior.

Palavras-chave: Cerâmica; Implantes Dentários; Materiais Dentários.

Lopes GRS. *Evaluation of the biomechanical behavior and survival of single zirconia crowns on CAD/CAM abutments and implants manufactured by 3D printing.* [tese]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, 2026.

## **ABSTRACT**

*This study aimed to evaluate the fatigue behavior and reliability of two types of CAD/CAM abutments used for single implant-supported reconstructions. Additively manufactured implants with an internal conical connection (4 x 10 mm; Plenum, Jundiaí, SP, Brazil) were used. Half of the implants received Ti-base abutments while the other half received proprietary Plenum abutments (both Ø 4.5 x 1 mm). Zirconia crowns were milled and cemented onto the abutments. Representative specimens were characterized using EDX, XRD, and SEM. Eighteen specimens per group were subjected to step-stress accelerated life testing (15 Hz) through 30 degrees off-axis load application using three loading profiles: mild, moderate, and aggressive until failure or suspension. Failure load and number of cycles were used to calculate use-level probability curves, fatigue beta values, and reliability for 100,000- cycle missions at 50 and 100 N followed by failure-mode analysis. Characterization results confirmed the alloy was composed of titanium, aluminum, vanadium, without  $\beta$  phase. SEM images show a rough but uniform surface. In fatigue testing,  $\beta$  values ( $>1$ ) suggested failures due to fatigue damage accumulation. Considering the  $\beta$  lower bounds ( $<1$ ), two- parameter Weibull analysis was conducted (95% CI) revealing no significant differences regarding modulus between groups. However, Ti-base abutments presented higher characteristic strength (140.2 N [134.9-145.7]) compared to Plenum abutments (99.2 N [93.4- 105.2]). For missions at 50 N both groups presented high reliability ( $\geq 99\%$ ). At 100 N, reliability for Plenum abutments decreased significantly (25%), while the Ti-base group remained above 99%. Failure-mode evaluation revealed that Ti-base specimens failed either at the abutment or abutment-screw, whereas all failures in the Plenum group involved the abutment-screw assembly. Ti-base presented higher characteristic strength and reliability than Plenum abutments. Both abutments on 3D-printed implants presented high reliability for physiologic masticatory forces in the anterior region.*

*Keywords: Ceramics; Dental Implants; Dental Materials.*

## 1 INTRODUÇÃO

O sucesso das reabilitações orais com próteses implantossuportadas, não depende apenas da osseointegração, mas também da integridade da conexão entre a restauração protética e o implante, assegurando adequada resistência e estabilidade ao tratamento restaurador (Matheos et al., 2021).

A obtenção e manutenção da osseointegração é um dos fatores fundamentais para a sobrevivência das reabilitações com próteses implantossuportadas e, neste sentido, o titânio continua sendo o material de escolha para a confecção destes implantes por apresentar resultados satisfatórios em longo prazo (Mendonça et al., 2008; Torres-Sanchez et al., 2017). A diferença entre o módulo elástico do titânio (110 GPa) e do osso de suporte (Osso cortical: 13,5 GPa; Osso medular: 1,3 GPa) pode promover uma micromovimentação excessiva do implante, ocasionando a formação de tecido fibroso na interface osso/implante, comprometendo a osseointegração e até mesmo aumentar a atividade de células clásticas causando reabsorção óssea marginal de implantes já osseintegrados (Barui et al., 2019).

A utilização de manufaturas aditivas ou impressões 3D garante uma maior precisão de detalhes na fabricação dos implantes, uma vez que eles são confeccionados à partir do pó de titânio que dará origem a geometria final de interesse (Hsu et al., 2020). Além disso, estas novas tecnologias de manufaturas aditivas permitiram otimizar algumas propriedades do implante, entre elas, o controle da molhabilidade e da microestrutura superficial, já que mimetizar o trabeculado ósseo parece favorecer a adesão celular e aumentar a concentração de fatores de crescimento (Wu et al., 2014). No entanto, as porosidades superficiais do implante devem ser controlada com bastante cautela para que a redução de sua rigidez não afete seu desempenho frente às exigências mecânicas da cavidade oral (Javaid et al., 2019).

Está claro que o comportamento biomecânico das reabilitações implantossuportadas é influenciado pelas diferentes estruturas que compõem o sistema reabilitador, porém, compreender como estas estruturas afetam este comportamento ainda é um desafio (Kul; Kormaz, 2021). Neste sentido, a tecnologia CAD/CAM está cada vez mais presente na rotina clínica, uma vez que seus resultados protéticos já

se mostram consolidados e superiores aos métodos convencionais (Kapos et al., 2014).

Logo, o objetivo do presente trabalho é investigar o comportamento biomecânico de próteses unitárias sobre pilares CAD/CAM (Pilar Ti-base e Pilar Plenum) em restaurações suportadas por implantes confeccionados por impressões 3D.

## **2 PROPOSIÇÃO**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo do presente trabalho é investigar o comportamento biomecânico de próteses unitárias sobre pilares CAD/CAM (Pilar Ti-base e Pilar Plenum) em restaurações suportadas por implantes confeccionados por impressões 3D.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Observar o comportamento biomecânico dos diferentes sistemas restauradores avaliados, identificando possíveis danos no tecido peri-implantar devido a microdeformação cervical e regiões de tensão elevada de possível falha mecânica nas estruturas protéticas;
- b) Avaliar as propriedades mecânicas e de superfície, bem como a sobrevivência em fadiga mecânica dos diferentes componentes.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

Para este trabalho foram utilizados implantes de titânio com os diferentes pilares (Pilar Ti-base e Pilar Plenum), ambos suportando uma coroa protética em zircônia.

#### **3.1 Confeção dos corpos de prova**

Foram utilizadas 42 implantes dentários regulares (RE) (4 x 10 mm) cone-morse (Plenum, Jundiaí, SP, Brasil) confeccionados em titânio comercialmente puro obtidos por manufatura aditiva (Figura 1).

Figura 1 - Implante em titânio obtido por manufatura aditiva (Plenum, Jundiaí, SP, Brasil)

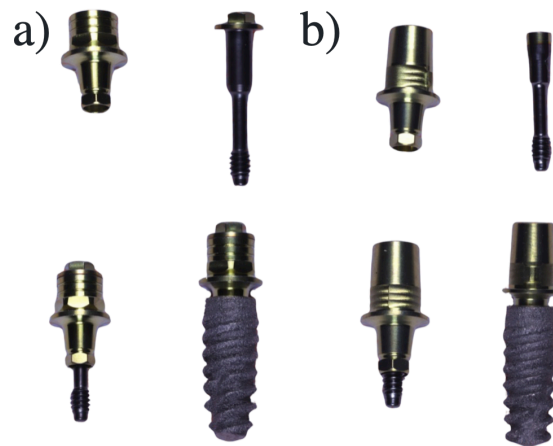


Fonte: Elaborada pelo autor.

Os implantes foram posicionados perpendicularmente ao solo com o auxílio de um delineador e eles foram envolvidos por resina acrílica autopolimerizável à partir de uma matriz com geometria que viabilizaria o correto posicionamento dos implantes nas máquinas de ensaios mecânicos. Após polimerização e acabamento da resina, todos os implantes apresentavam sua plataforma no nível da resina.

Vinte e um implantes receberam o pilar Ti-base RE com  $\varnothing$  4,5 x 1mm (PR) (Plenum, Jundiaí, SP, Brasil) e 21 receberam o Pilar Plenum Regular com  $\varnothing$  4,5 x 1,0mm (PP) (Plenum, Jundiaí, SP, Brasil) (Figura 2).

Figura 2 - Ilustração esquemática dos grupos experimentais deste estudo



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os pilares foram instalados com torque de 20 N.cm, utilizando chave específica do Sistema Plenum (Kit Protético Plenum, Jundiaí, SP, Brasil), de acordo com as recomendações do fabricante. Os torques foram confirmados após 10 minutos da instalação, antes de cada teste de fadiga.

Por meio de tecnologia CAD (Computer-Aided Design), foram desenhadas coroas com a anatomia idêntica de um incisivo central superior, espessura mínima de 1mm e espessamento interno de 80  $\mu$ m, para os respectivos pilares. Estes desenhos foram exportados para um software CAM (Computer Aided Manufacturing) do sistema ZirkonZahn (Zirkonzahn Worldwide, Gais, Bz, Itália), e, em seguida, foram usinadas as coroas monolíticas à partir de um disco de zircônia (Zircônia Prettau® 4 Anterior®, Zirkonzahn Worldwide, Gais, Bz, Itália).

Após fresagem, o bloco foi removido da unidade de fresagem e as coroas foram individualizadas com brocas e discos específicos. As coroas foram inseridas em um forno específico (Zirkonofen 600, Zirkonzahn Worldwide, Gais, Bz, Itália) por um período de 8 horas para o ciclo de sinterização. Por fim, as coroas foram inseridas nos respectivos pilares para que se pudesse checar o completo assentamento delas.

### **3.2 Análise de superfície com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

Amostras representativas dos implantes impressos (Plenum, Jundiaí, SP,

Brasil) foram analisadas quanto a sua morfologia superficial por meio de microscópio eletrônico de varredura (Inspect S50, FEI Company, Brno, República Tcheca) (Figura 3).

Figura 3 – Microscópio eletrônico de varredura para caracterização da superfície das amostras



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.3 Análise de Difração de Raio-X (DRX)

Para identificar a cristalinidade dos implantes impressos (Plenum, Jundiaí, SP, Brasil) foi utilizado o Difratorômetro de Raios-X de Alta Resolução (GIXRD; Philips X'pert PRO MRD, Almelo, Holanda). A identificação das fases cristalinas foi dada após

comparação dos espectros experimentais com espectros de difração padrões do banco de dados JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) e ICSD (Inorganic Crystal Structure).

A varredura de incidência padrão DRX foi realizada na geometria Bragg  $\theta$ - $2\theta$ , equipada com um monocromador de grafite e radiação Cu K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ), operando a uma tensão de 40 kV e uma emissão de corrente de 40 mA. Os dados foram obtidos em  $2\theta$  variando de  $20^\circ$  a  $70^\circ$  a uma taxa de varredura de  $0,2^\circ / \text{min}$  e um tamanho de etapa de  $0,02^\circ$ .

A análise quantitativa da fase foi realizada usando o método de refinamento Rietveld no software X'Pert HighScore (Malvern PANalytical Ltd, Westborough, MA, EUA), que estima a fração de peso (%) de cada fase com base na intensidade de pico relativa.

### **3.4 Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS)**

Os espécimes de implantes impressos (Plenum, Jundiaí, SP, Brasil) foram submetidos a uma análise de espectroscopia por dispersão de energia, para avaliação dos microconstituintes superficiais do material (Inspect S50, FEI Company, Alemanha), associada ao software Esprit 1.9 (Bruker, Berlim, Alemanha).

Para esta análise, um feixe de elétrons atinge a superfície da amostra e os elétrons mais instáveis, da última camada, conseguem absorver a energia nele depositada por esse feixe de elétrons. Quando esses elétrons se movimentam pra camadas mais internas de energia, fótons de energia são liberados. Esses fótons tem a energia condizente com o elemento químico que os elétrons representam, sendo essa informação captada pelo detector de EDS, localizado dentro da câmara do Microscópio Eletrônico de Varredura. Por sua vez, sendo traduzida pelo software, que então indica a presença dos elementos químicos na amostra e sua quantificação, em peso (% wt) e concentração (% at). Com isso, é possível verificar quais elementos químicos compõem a área específica analisada.

### 3.5 Análise de Carga Máxima para Fratura

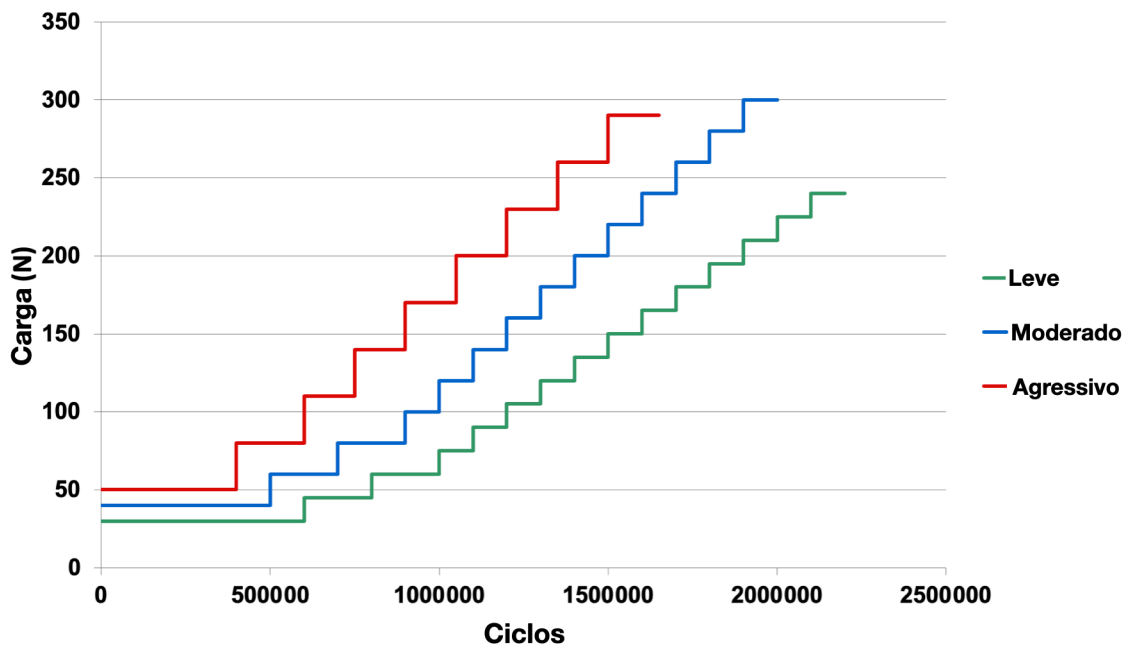
Três amostras de cada grupo foram submetidas ao teste de carga máxima para fratura (SLF) em uma máquina de teste universal (EMIC DL 1000, EMIC, São José dos Pinhais, PR; 1 mm/min, 1000 kgf). Estas amostras foram posicionadas em uma base com angulação de 30° em relação a base do equipamento e o carregamento foi realizado sobre a coroa até que houvesse alguma falha em algum dos componentes dos corpos de prova, conforme os parâmetros descritos na ISO 14801:2016. A partir do valor médio da carga, foi determinado o perfil de fadiga utilizado nos testes graduais.

### 4.10 Análise da Sobrevivência em Fadiga

Baseado nos valores médios de carga máxima de fratura de cada grupo, foi determinado o modelo do teste de sobrevivência em fadiga acelerado. Esta abordagem de ensaio de fadiga consiste em testar as amostras em tensões maiores que às encontradas habitualmente em prazos mais curtos de tempo. Assim, os resultados são analisados para que o perfil de falha em tensões habituais possa ser determinado com base no comportamento das amostras sob testes de sobrevivência acelerado.

Neste sentido, foram estabelecidos três perfis de carga: leve, moderado e agressivo, com distribuição dos corpos de prova ns seguinte proporção 3:2:1, respectivamente. Foram distribuídas 18 amostras por grupo, 9 para o perfil de carga leve, 6 para o perfil de carga moderado e 3 para o perfil de carga agressivo (Figura 4).

Figura 4 – Gráfico apresentando os três perfis de carga para o teste de sobrevivência em fadiga acelerado: leve, moderado e agressivo



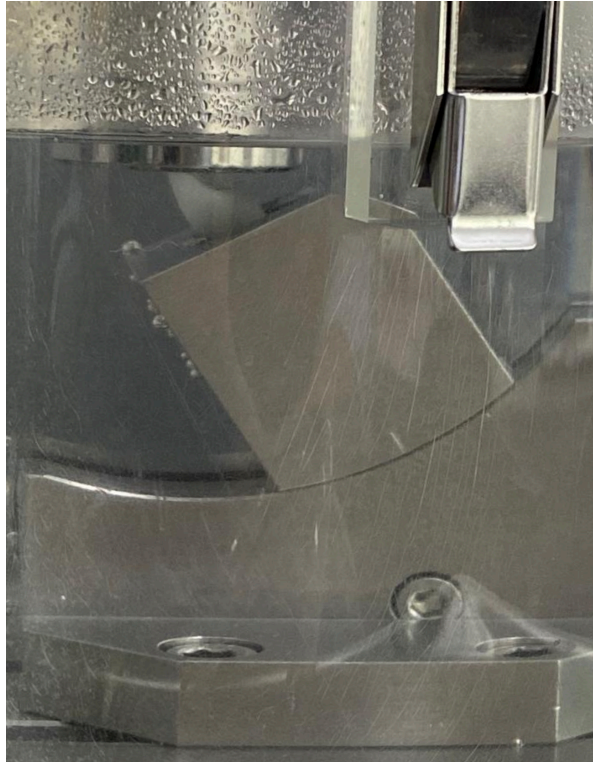
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os perfis leves, moderados ou agressivos referem-se à rapidez crescente e gradual com que um espécime é fatigado para atingir um determinado nível de carga, o que significa que os espécimes atribuídos a um perfil suave são submetidos a um ciclo mais longo para atingir a mesma carga de um espécime atribuído a perfis moderados ou agressivos.

Para o teste de sobrevivência em fadiga, as amostras foram posicionadas em uma base com ângulo de 30° em relação a base do simulador (Instron Corp., Canton, MA, EUA), na frequência de 15 Hz com aplicador posicionado na borda incisal das coroas das amostras, conforme os parâmetros descritos na norma ISO 14801:2007 e imersas em água destilada a 37 °C (Figura 5).

Baseado nos resultados das distribuições de falhas do teste de sobrevivência em fadiga acelerado, foram calculadas e plotadas curvas de probabilidade de nível de uso Weibull (insegurança vs. ciclos) com tensões de uso de 100 N e intervalos de confiança bilaterais de 90%, usando uma relação de lei de potência para acumulação de danos (Alta Pro 7, ReliaSoft, Tucson, AZ, USA). A carga de falha e o número de ciclos foram usados para calcular curvas de probabilidade de nível de uso, valores beta de fadiga e confiabilidade para missões de 100.000 ciclos a 50 e 100 N, seguidas de análise do modo de falha.

Figura 5 – Amostras representativas posicionada no simulador de fadiga



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.9 Análise Fractografia

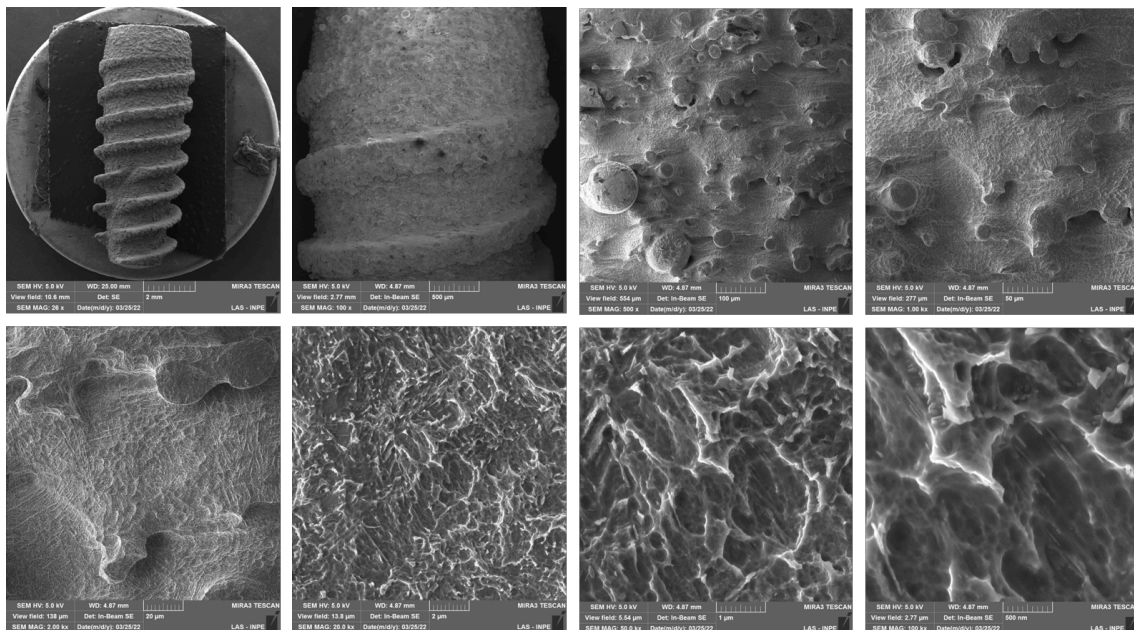
Para determinação das características e provável origem da falha, as superfícies fraturadas de todas as amostras foram analisadas em Estereomicroscópio. As falhas foram classificadas de acordo com o padrão observado, entre eles, fratura do pilar ou fratura do conjunto pilar e parafuso. Amostras representativas foram também analisadas em MEV (Discovery V20, CarlZeiss, Jena Thuringia, Alemanha).

## 4 RESULTADO

### 4.1 Análise de superfície com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A figura 6 apresenta imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de amostras representativas do implante em titânio obtido por manufatura aditiva. Foi possível observar uma rugosidade superficial, no entanto, distribuída de forma homogênea por todo o corpo do implante.

Figura 6 – Micrografias de amostras representativas dos implantes em titânio obtidos por manufatura aditiva



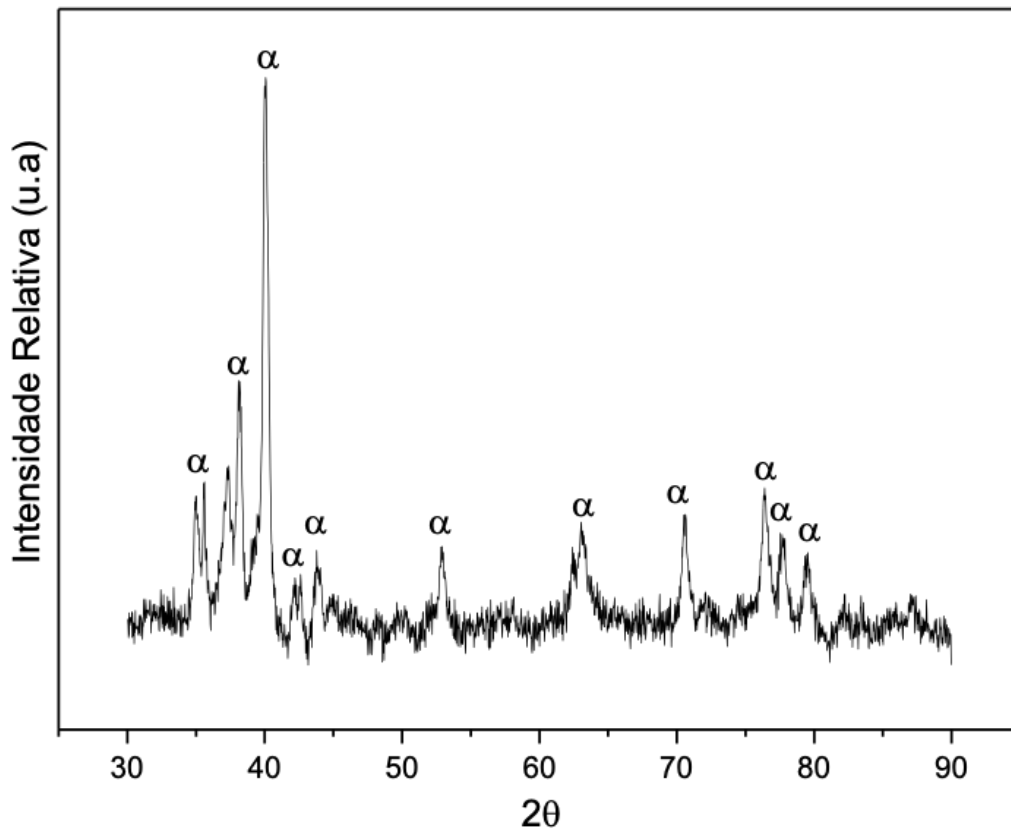
Legenda: A linha superior apresenta espécime do implante em zircônia em um aumento de 1.000x e 5.000x. A linha inferior mostra o implante em zircônia em um aumento de 50.000x e 100.000x.

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 4.2 Análise de Difração de Raio-X (DRX)

Os difratogramas de raio-X, correspondente ao implante obtido por manufatura aditiva, mostra que a sua superfície é majoritariamente composta por titânio. A observação dos espectros ainda permitiu verificar a presença predominante da fase alfa ( $\alpha$ ) e ausência de fase beta ( $\beta$ ) no titânio para a faixa  $2\theta$  entre  $30^\circ$  e  $90^\circ$  (Figura 7).

Figura 7 – Difratograma de raios X,  $\alpha$ = titânio alfa (ICSD:05-0682)



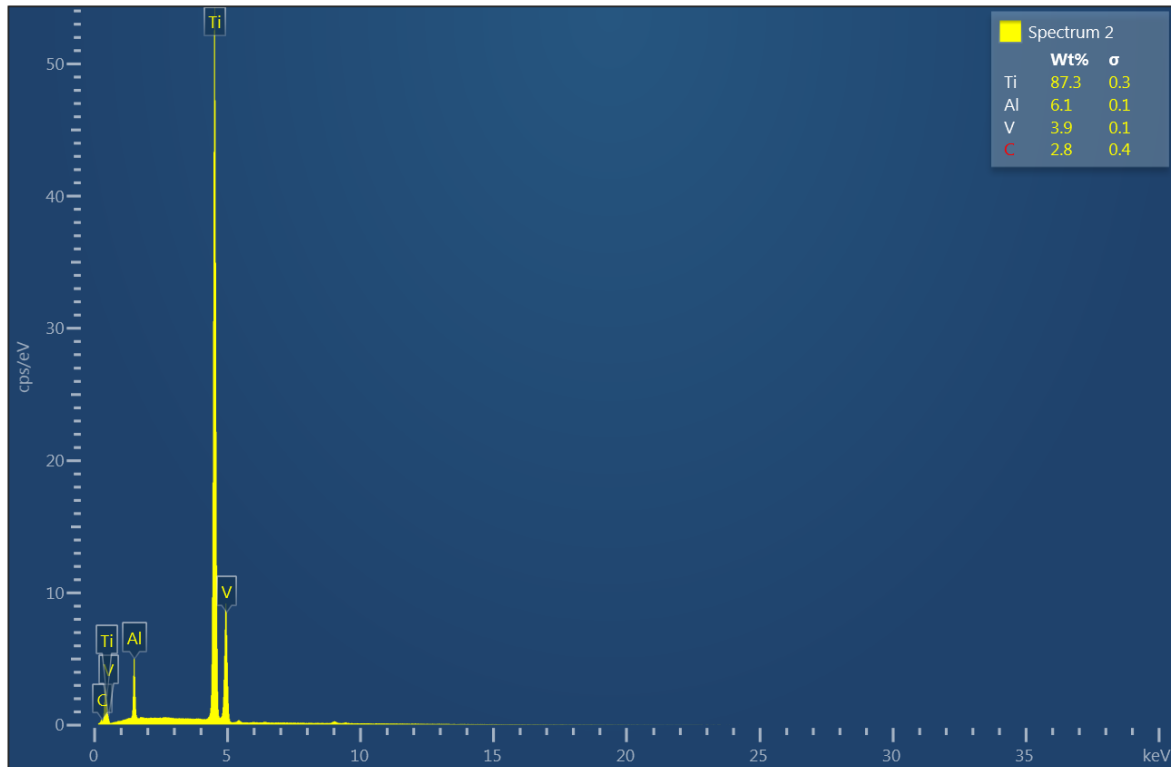
Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.3 Análise por Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS)

De acordo com a análise por Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS), a região do corpo dos implantes em titânio é composta por Titânio, Alumínio, Vanádio

e Carbono. A análise por EDS também permitiu mensurar a porcentagem de cada elemento químico (%at) de acordo com o peso de cada elemento na análise (%wt) (Figura 8).

Figura 8 – Composição do implante em titânio obtido por manufatura aditiva



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.4 Carga Máxima para Fratura

Os resultados da análise de carga máxima para fratura estão descritos na Tabela 1. Com base nesses resultados foi realizados os ensaios para delinear os perfis de carga para o ensaio de sobrevivência de fadiga acelerado.

Tabela 1 – Média  $\pm$  Desvio padrão dos dados obtidos por resistência na análise de carga máxima para fratura para o grupo do pilar Ti-base e para o grupo do pilar Plenum

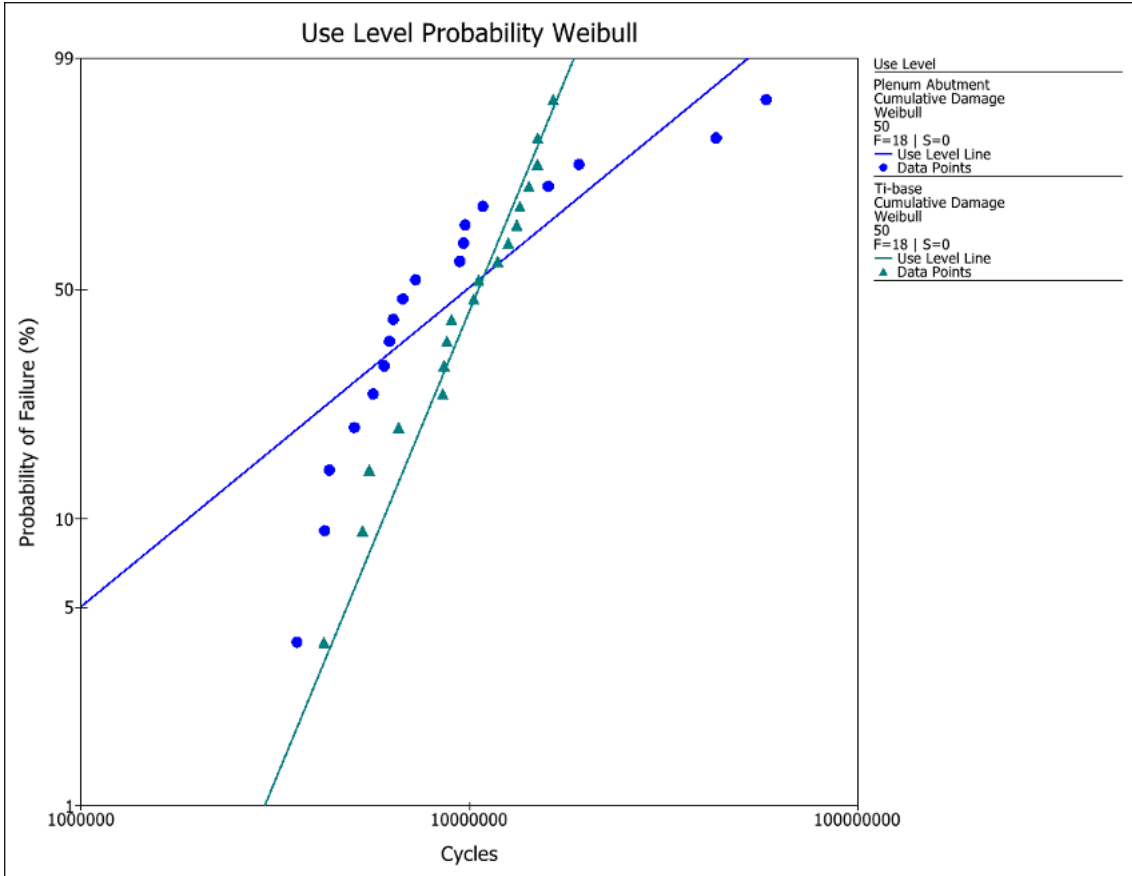
<b>Grupos</b>	<b>Média (kgf)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Pilar Ti-base	950,99	± 186,88
Pilar Plenum	706,75	± 68,18

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.5 Análise de Sobrevivência em Fadiga Acelerado

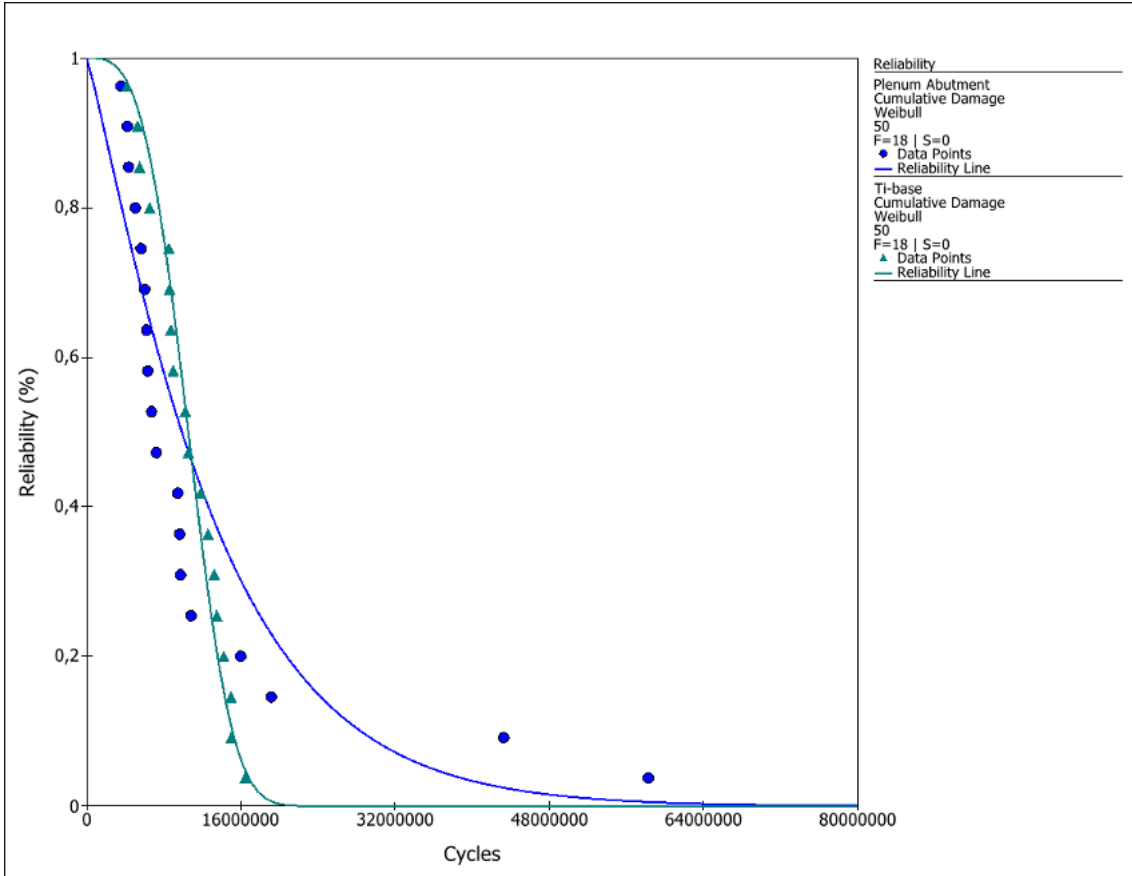
Todos os espécimes foram submetidos ao teste de sobrevivência em fadiga acelerado até que as amostras falhassem. Nos testes de fadiga, as médias dos valores beta ( $\beta$ ) derivados do cálculo da probabilidade Weibull foram  $\beta = 3,3$  (0,7-15,5) e  $\beta = 1,1$  (0,4-2,8) para os grupos dos pilares Ti-base e Plenum, respectivamente. Os valores de  $\beta$  ( $> 1$ ) sugeriram falhas devido ao acúmulo de danos por fadiga. Considerando os limites inferiores de  $\beta$  ( $< 1$ ), as falhas nesses grupos foram provavelmente ditadas pela resistência do material, logo, a análise Weibull de dois parâmetros foi conduzida (IC de 95%), não revelando diferenças significativas em relação ao módulo entre os grupos. No entanto, os pilares Ti-base apresentaram maior resistência (140,2 N [134,9-145,7]) em comparação aos pilares Plenum (99,2 N [93,4-105,2]). Para simulações a 50 N, ambos os grupos apresentaram alta confiabilidade ( $\geq 99\%$ ). A 100 N, a confiabilidade dos pilares Plenum diminuiu significativamente (25%), enquanto o grupo dos pilares Ti-base permaneceu acima de 99% (Figuras 10, 11 e 12).

Figura 10 – Probabilidade Weibull (confiabilidade x carregamento) para os grupos de pilar Ti-base e pilar Plenum



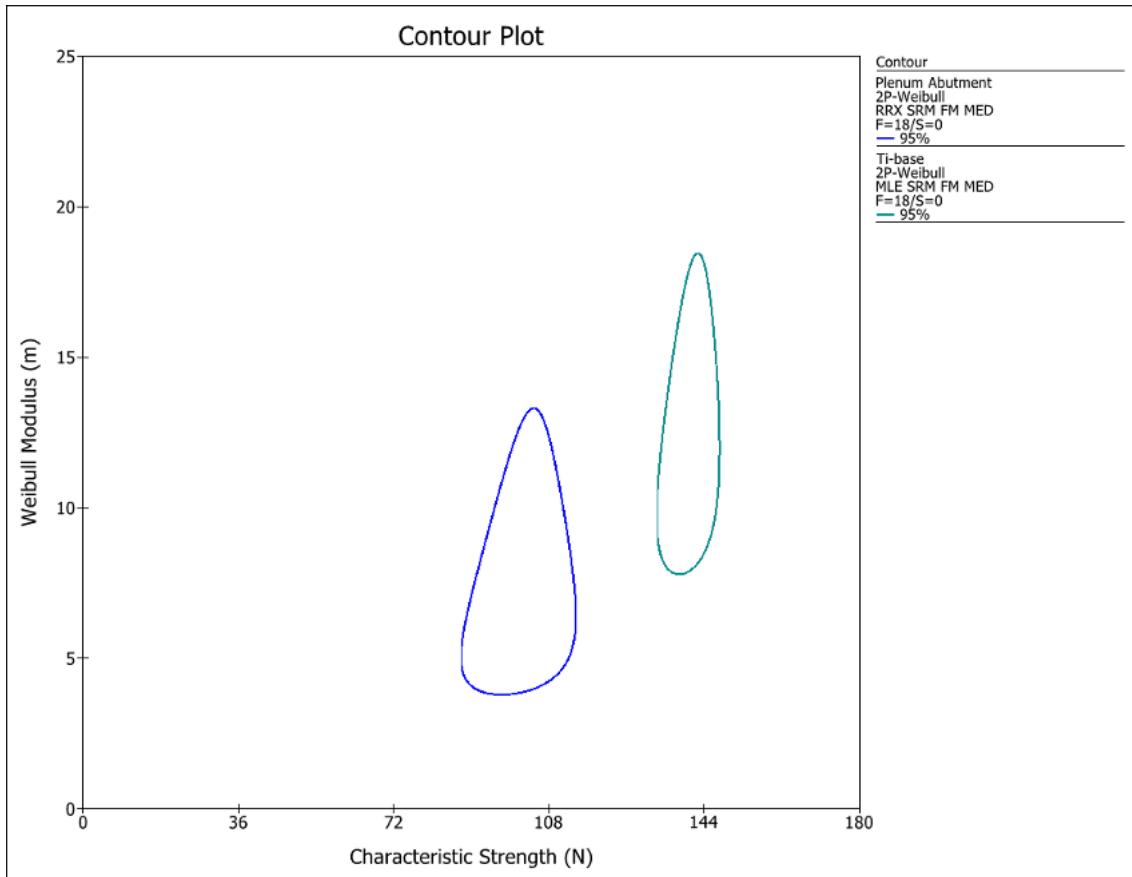
Legenda: F = falhas; S = sobrevivência.  
 Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 11 – Probabilidade de sobrevivência em função da quantidade de ciclos para os grupo pilar Ti-base e pilar Plenum



Legenda: F = falhas; S = sobrevivência.  
 Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Módulo Weibull (m) em função da resistência característica (N) dos grupos do pilar Ti-base e do pilar Plenum

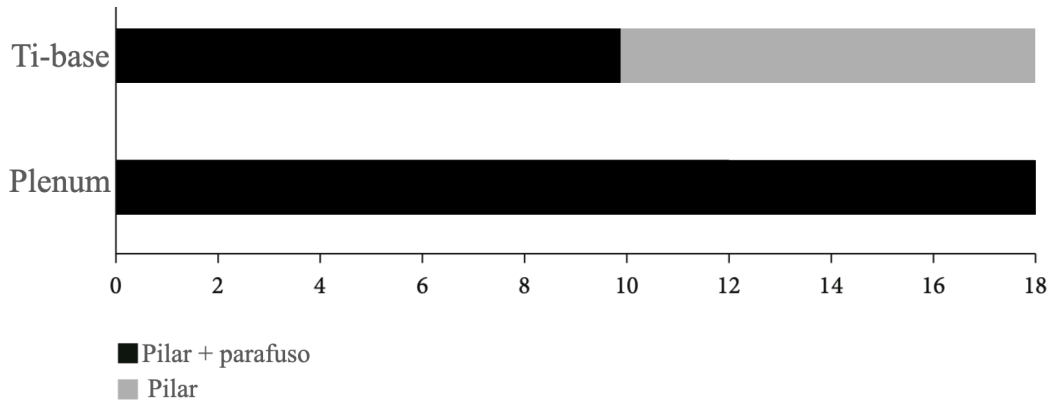


Legenda: F = falhas; S = sobrevivência.  
 Fonte: Elaborada pelo autor.

## 5.12 Análise Fractográfica

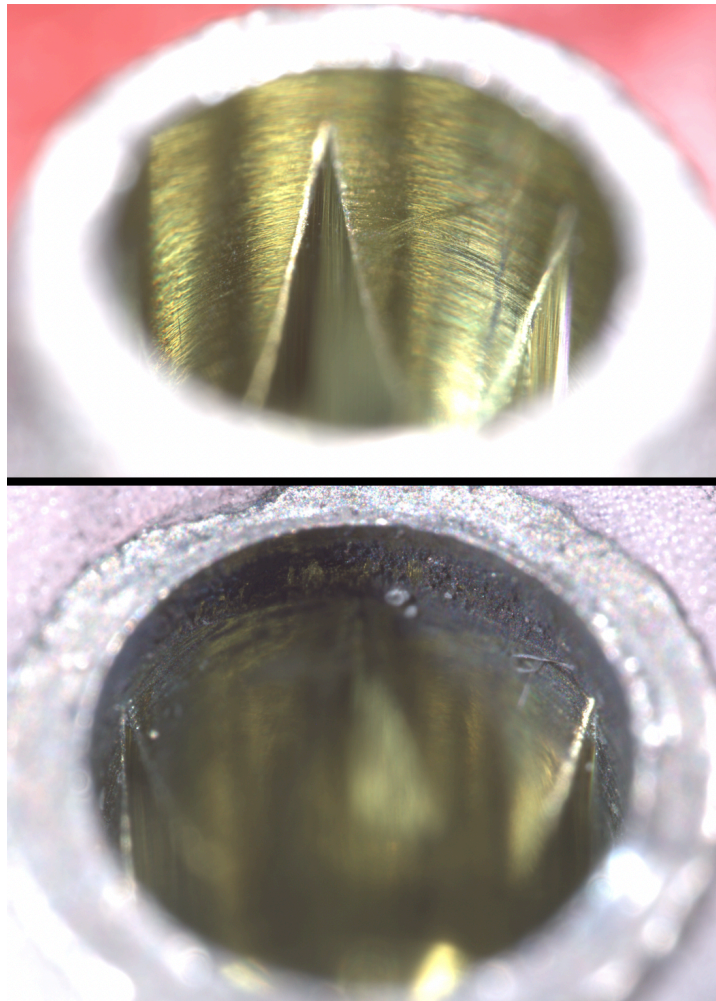
A avaliação do modo de falha revelou que os espécimes de Ti-base falharam no pilar (45,5%) e no conjunto pilar e parafuso (55,5%), enquanto todas as falhas no grupo Plenum envolveram o conjunto pilar-parafuso (100%) (Figura 13). Em nenhum dos corpos de prova foi possível visualizar qualquer dano ao implante (Figura 14).

Figura 13 – Distribuição das falhas em função dos diferentes pilares investigados



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 14 – Imagem da conexão interna do implante antes e após ensaio de sobrevivência em fadiga acelerado

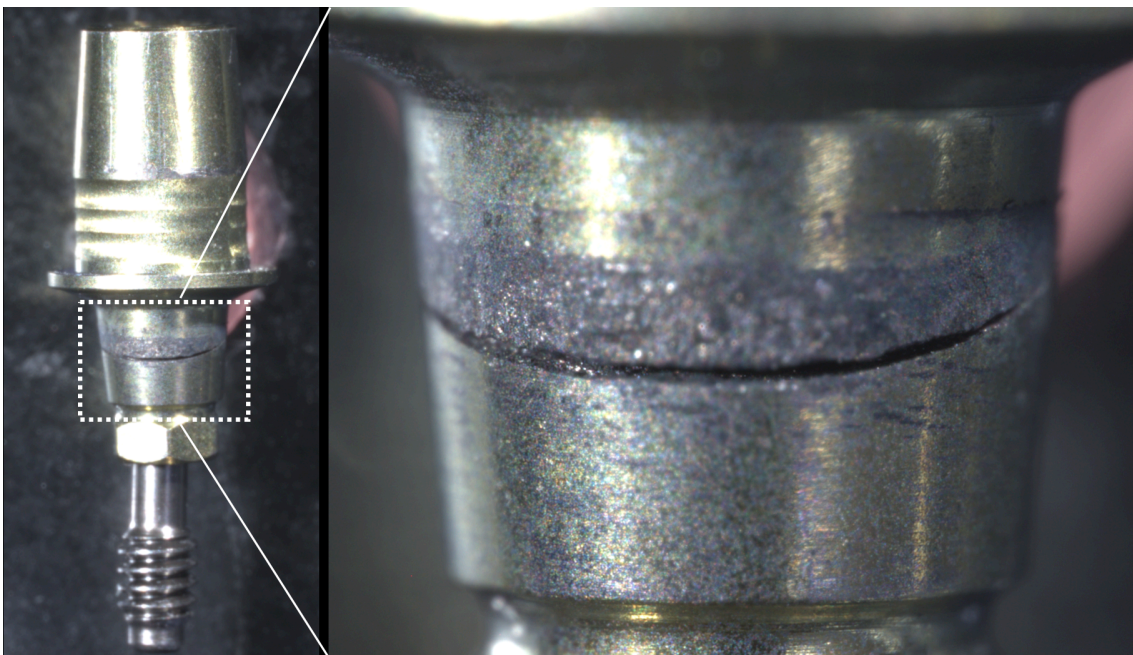


Legenda: A figura superior apresenta espécime do implante em titânio antes do ensaio de fadiga (50x). A figura inferior mostra o implante em titânio após ensaio de fadiga (50x).

Fonte: Elaborada pelo autor.

O padrão de falha foi semelhante para os dois grupos, localizadas na palatina dos pilares, próximo da região de primeiro contato entre o pilar e o implante como podemos verificar em amostras representativas (Figura 15).

Figura 15 – Distribuição das falhas em função dos diferentes pilares investigados



Legenda: A figura à esquerda apresenta espécime do pilar Ti-bse após ensaio de fadiga (14x). A figura à direita mostra a mesma falha no aumento de (46x).

Fonte: Elaborada pelo autor.

## 6 DISCUSSÃO

O presente estudo teve por objetivo investigar a resistência em fadiga de implantes unitários obtidos por manufatura aditiva em dois grupos distintos: implantes unitários com pilares Ti-base e coroas em zircônia e implantes unitários com pilares Plenum e coroas em zircônia. A primeira hipótese nula foi descartada uma vez que, para os ensaios de fadiga, não houve diferença significativa nas falhas para os dois grupos. A segunda hipótese nula também foi descartada já que os grupos apresentaram padrões de falha semelhantes.

O titânio ou liga de titânio ainda se mostra como o material de escolha para a composição dos implantes dentários pela sua alta biocompatibilidade e capacidade de osseointegração, que é a propriedade que garante um íntimo e direto contato entre implante e osso (Maaty et al., 2025). Nas últimas décadas, diferentes tratamentos de superfície tem sido propostos para a modificação da rugosidade dos implante, entre eles, jateamento abrasivo, condicionamento ácido, oxidação anódica eletroquímica, revestimentos de fosfato de cálcio, entre outras (Rupp et al., 2018). Neste sentido, os implantes do presente trabalho são obtidos por meio de tecnologia de impressão que garante um completo controle de sua micro-geometria e de todas as suas características superficiais, sem a necessidade de tratamentos adicionais para modificar sua superfície.

Esta mudança de paradigma se deu pelas vantagens apresentadas nos implantes com rugosidade superficial quando se avaliava a diferenciação e migração de células osteoprogenitoras (Andrukhov et al., 2016). Grande parte dos implantes comercializados apresentam um condicionamento superficial que envolve procedimentos químicos e/ou físicos (Dohan et al., 2010), porém, uma rugosidade heterogênea por todo o corpo do implante, o que pode apresentar diferentes níveis de interação superficial na obtenção a osseointegração (Öncü; Alaaddinoğlu, 2015). Ensaios laboratoriais mostram que superfície de implante obtidos por manufatura aditiva apresentam resultados preliminares promissores na adesão e ativação celular, fatores que poderiam otimizar o processo da osseointegração (Andrade et al., 2021). Sendo assim, os implantes impressos investigados no presente trabalho apresentam

uma rugosidade superficial biomimética obtida por uma microfusão à laser de partículas de titânio grau 23. Esta tecnologia permite um maior controle da rugosidade superficial por todo o corpo do implante, o que garante uma superfície com rugosidade moderada e mais homogênea, como foi possível observar nas imagens de MEV.

A composição química dos implantes, em sua grande maioria, se apresenta como uma liga de titânio bifásico, com estrutura cristalina da classe alfa (hexagonal compacta) e beta (cúbica de corpo centrado) composta por titânio, alumínio (5,5-6,74%) e vanádio (3,5-4,5%). A incorporação destes elementos ao titânio confere maior resistência mecânica ao material pela presença do alumínio e do vanádio, além de melhorar a resistência à corrosão pela presença do vanádio (Tchinda et al., 2022). O implante do presente estudo se apresenta como uma liga de titânio com concentração de alumínio e vanádio dentro dos valores estimados para estes elementos. No entanto, diferente das ligas de titânio utilizadas comercialmente, sua estrutura apresenta exclusivamente a fase alfa.

Diversas metodologias laboratoriais são adotadas para investigar o comportamento biomecânico de próteses sobre implante. No entanto, muitos dos testes adotados não conseguem realizar ensaios que simulem falhas fisiológicas (Karl; Kelly, 2009). O presente estudo adotou o teste de sobrevivência em fadiga acelerado proposto por Bonfante e Coelho (2016), que, de acordo com os autores, seria o único ensaio laboratorial capaz de reproduzir os mesmos padrões de falhas observados clinicamente. Sendo assim, os ensaios utilizados para investigar reabilitações CAD/CAM sobre implantes impressos permitiu prever o desempenho de restaurações implantossuportadas em longo prazo obtendo valores de tempo médio de sobrevivência e probabilidade de falha por dano cumulativo.

Trabalhos prévios que avaliaram a resistência de restaurações unitárias implantossuportadas pelo método de sobrevivência em fadiga acelerado apresentaram falhas nos pilares em titânio, por ser a estrutura mais frágil do conjunto restaurador implante-pilar-coroa, mesmo em implantes estreitos, o que poderia sugerir uma maior fragilidade do implante. No entanto, estes mesmos trabalhos investigaram pilares CAD/CAM com base em titânio e observaram que eles se apresentam como uma alternativa segura para a sua utilização nas regiões anteriores dos maxilares (Benalcázar-Jalkh et al., 2023; Bergamo et al., 2020), uma vez que estes testes apresentaram alta confiabilidade para implantes unitários nos ensaios superiores a

150N e as forças oclusais fisiológicas para estas regiões apresentam uma média de 14,5 N (Hattori et al., 2009). O presente trabalho utilizou implantes regulares obtidos por manufatura aditiva, o que poderia alterar o comportamento biomecânico do conjunto restaurador implante-pilar-coroa, já que seu método de obtenção é diferente da grande maioria dos implantes disponíveis comercialmente, ou seja, implantes obtidos por métodos subtrativos, enquanto os implantes impressos são obtidos por manufatura aditiva. No entanto, os valores de resistência encontrados para os implantes impressos e seus respectivos pilares CAD/CAM se apresentaram com alta confiabilidade para ensaios de 50N e confiabilidade >99% para ensaios de 100N quando se utilizou os pilares Ti-base, o que pode indicar sua segura utilização na região anterior dos maxilares. Estes resultados podem ser ainda mais promissores uma vez que estes ensaios mecânicos mostraram resultados positivos em simulações clínicas desafiadoras pela aplicação de carga fora do eixo axial do implante (30°) e pelo carregamento sobre a borda incisal de um incisivo central superior.

As evidências atuais biomecânicas apontam para um comprometimento do pilar ou do conjunto pilar/parafuso nos ensaios laboratoriais das reabilitações unitárias implantossuportadas, pela degradação desse componente associados ao acúmulo de dano sob fadiga em longo prazo (Bonfante; Coelho, 2016). A fragilidade do pilar pode ser explicada pela espessura delgada das paredes do pilar em uma região de concentração de tensão, ou seja, próxima à conexão implante-pilar. No entanto, trata-se de uma região de menor complexidade para uma falha catastrófica, uma vez que o reparo do conjunto restaurador estará a nível das supraestruturas, sem a necessidade de novas intervenções cirúrgicas (Bergamo et al., 2020). Nas análises fractográficas, o presente trabalho apresentou um padrão de falha para o conjunto restaurador (implante impresso, pilar CAD/CAM e coroa em zircônia) similar aos encontrados na literatura, logo, apresentando falhas no pilar ou no conjunto pilar/parafuso. Os pilares Ti-base apresentaram falhas que envolviam os parafusos e falhas que envolveram apenas os pilares. A preservação dos parafusos pode ser explicada pela localização da fratura do pilar se encontrar mais próxima das extremidades dos parafusos ou até mesmo pela maior resistência desses parafusos pela sua composição, uma liga de titânio (Duan et al., 2018). Por outro lado, todas as fraturas dos pilares Plenum envolveram o pilar e o parafuso, o que pode ser explicado pela localização das fraturas nos pilares, localizadas próximas do centro do parafuso

e até mesmo pelo tamanho do parafuso, fazendo com que qualquer deformação do pilar, invariavelmente levasse também a uma deformação e, conseqüentemente, fratura do parafuso protético.

Neste sentido, todas as opções restauradoras investigadas no presente trabalho se apresentaram como materiais promissores para reabilitações em região anterior. Em nenhum dos ensaios mecânicos foi possível observar qualquer comprometimento dos implantes obtidos por manufatura aditiva. Estas observações foram possíveis pela utilização de uma metodologia que, de fato, permite a extrapolação de resultados semelhantes aos encontrados em ensaios clínicos fisiológicos. Mesmo que os resultados apresentados encorajem a utilização dos materiais avaliados, trata-se de um estudo in vitro limitado a restaurações unitárias implantossuportadas. Sendo assim, mais estudos investigando diferentes configurações para restaurações múltiplas e unitárias, em diferentes condições clínicas são necessários para fundamentar as diversas possibilidades restauradoras envolvendo implantes impressos e pilares CAD/CAM.

## 7 CONCLUSÃO

Os pilares Ti-base apresentaram maior resistência e confiabilidade do que os pilares Plenum. Os padrões de falhas foram similares para os pilares investigados, envolvendo o pilar ou o conjunto pilar/parafuso. No entanto, ambos os pilares sobre implantes impressos em 3D apresentaram alta confiabilidade para forças mastigatórias fisiológicas na região anterior.

## REFERÊNCIAS

Abouel Maaty FAN, Ragab MA, El-Ghazawy YM, Elfaiedi FI, Abbass MMS, Radwan IA, Rady D, El Moshy S, Korany NS, Ahmed GM, Dörfer CE, El-Sayed KMF. Peri-Implant Soft Tissue in Contact with Zirconium/Titanium Abutments from Histological and Biological Perspectives: A Concise Review. *Cells*. 2025 Jan 17;14(2):129. doi: 10.3390/cells14020129. PMID: 39851556; PMCID: PMC11763997.

Andrukhov O, Huber R, Shi B, Berner S, Rausch-Fan X, Moritz A, Spencer ND, Schedle A. Proliferation, behavior, and differentiation of osteoblasts on surfaces of different microroughness. *Dent Mater*. 2016 Nov;32(11):1374-1384. doi: 10.1016/j.dental.2016.08.217. Epub 2016 Sep 13. PMID: 27637551.

Barui S, Panda AK, Naskar S, Kuppuraj R, Basu S, Basu B. 3D inkjet printing of biomaterials with strength reliability and cytocompatibility: Quantitative process strategy for Ti-6Al-4V. *Biomaterials*. 2019 Aug;213:119212. doi: 10.1016/j.biomaterials.2019.05.023. Epub 2019 May 17. PMID: 31152931.

Bergamo ETP, Campos TMB, Lopes ACO, Cardoso KB, Gouvea MVR, de Araújo-Júnior ENS, Witek L, Gierthmühlen PC, Coelho PG, Benalcázar Jalkh EB, Zahoui A, de Carvalho LF, Bonfante EA. Hydrothermal aging affects the three-dimensional fit and fatigue lifetime of zirconia abutments. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021 Dec;124:104832. doi: 10.1016/j.jmbbm.2021.104832. Epub 2021 Sep 8. PMID: 34536801.

Bergamo ETP, de Araújo-Júnior ENS, Lopes ACO, Coelho PG, Zahoui A, Benalcázar Jalkh EB, Bonfante EA. Failure Modes and Survival of Anterior Crowns Supported by Narrow Implant Systems. *Biomed Res Int*. 2020 Sep 7;2020:1057846. doi: 10.1155/2020/1057846. PMID: 32964016; PMCID: PMC7495162.

Benalcázar-Jalkh EB, de Carvalho LF, Alves LMM, Campos TMB, Sousa EO, Bergamo ETP, Coelho PG, Gierthmuehlen PC, Spitznagel FA, Zahoui A, Bonfante EA. Reliability and Failure Mode of Ti-Base Abutments Supported by Narrow/Wide Implant Systems. *Dent J (Basel)*. 2023 Aug 29;11(9):207. doi: 10.3390/dj11090207. PMID: 37754327; PMCID: PMC10529977.

Bonfante EA, Coelho PG. A Critical Perspective on Mechanical Testing of Implants and Prostheses. *Adv Dent Res*. 2016 Mar;28(1):18-27. doi: 10.1177/0022034515624445. PMID: 26927484.

Duan Y, Gonzalez JA, Kulkarni PA, Nagy WW, Griggs JA. Fatigue lifetime prediction of a reduced-diameter dental implant system: Numerical and experimental study. *Dent Mater*. 2018 Sep;34(9):1299-1309. doi: 10.1016/j.dental.2018.06.002. Epub 2018 Jun 18. PMID: 29921465; PMCID: PMC7302927.

Hattori Y, Satoh C, Kunieda T, Endoh R, Hisamatsu H, Watanabe M. Bite forces and their resultants during forceful intercuspal clenching in humans. *J Biomech*. 2009 Jul 22;42(10):1533-1538. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.03.040. Epub 2009 May 15. PMID: 19446816.

Hsu TI, Jhong YT, Tsai MH. Effect of Gradient Energy Density on the Microstructure and Mechanical Properties of Ti6Al4V Fabricated by Selective Electron Beam Additive Manufacture. *Materials (Basel)*. 2020 Mar 26;13(7):1509. doi: 10.3390/ma13071509. PMID: 32224887; PMCID: PMC7177318.

Javaid M, Haleem A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2019 Jul-Sep;9(3):179-185. doi: 10.1016/j.jobcr.2019.04.004. Epub 2019 Apr 16. PMID: 31049281; PMCID: PMC6482339.

Kapos T, Evans C. CAD/CAM technology for implant abutments, crowns, and superstructures. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29 Suppl:117-36. doi: 10.11607/jomi.2014suppl.g2.3. PMID: 24660194.

Karl M, Kelly JR. 2009. Influence of loading frequency on implant failure under cyclic fatigue conditions. *Dent Mater*. 25(11):1426–1432.

Kul E, Korkmaz İH. Effect of different design of abutment and implant on stress distribution in 2 implants and peripheral bone: A finite element analysis study. *J Prosthet Dent*. 2021:S0022- 3913(20)30736-8.

Mattheos N, Vergoullis I, Janda M, Miseli A. The Implant Supracrestal Complex and Its Significance for Long-Term Successful Clinical Outcomes. *Int J Prosthodont*. 2021 Jan-Feb;34(1):88-100. doi: 10.11607/ijp.7201. PMID: 33570524.

Mendonça G, Mendonça DB, Aragão FJ, Cooper LF. Advancing dental implant surface technology--from micron- to nanotopography. *Biomaterials*. 2008 Oct;29(28):3822-35. doi: 10.1016/j.biomaterials.2008.05.012. Epub 2008 Jul 9. PMID: 18617258.

Öncü E, Alaaddinoğlu EE. The effect of platelet-rich fibrin on implant stability. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2015 May-Jun;30(3):578-82. doi: 10.11607/jomi.3897. PMID: 26009908.

Torres-Sanchez C, Al Mushref FRA, Norrito M, Yendall K, Liu Y, Conway PP. The effect of pore size and porosity on mechanical properties and biological response of porous titanium scaffolds. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2017 Aug 1;77:219-228. doi: 10.1016/j.msec.2017.03.249. Epub 2017 Mar 27. PMID: 28532024.

Tchinda AP, Pierson G, Kouitat-Njiwa R, Bravetti P. The Surface Conditions and Composition of Titanium Alloys in Implantology: A Comparative Study of Dental

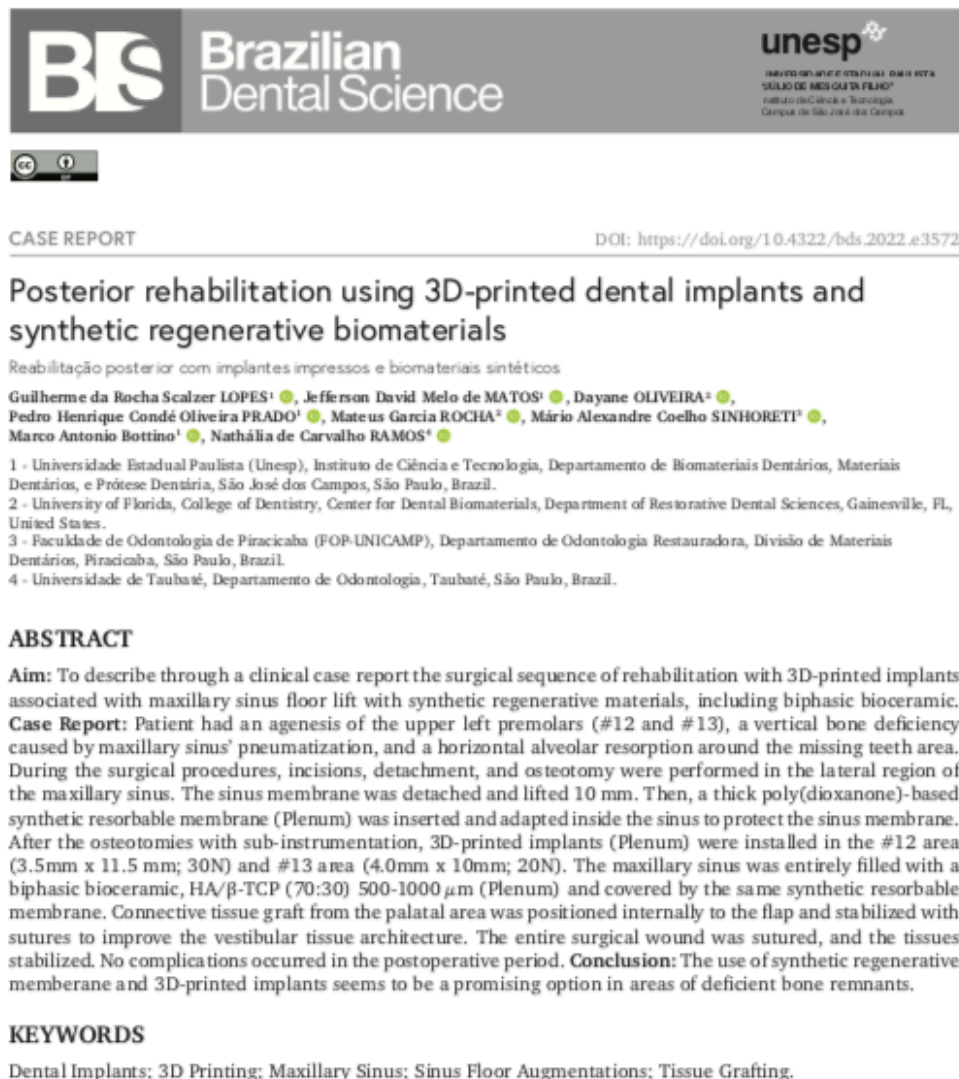
Implants of Different Brands. *Materials (Basel)*. 2022 Jan 28;15(3):1018. doi: 10.3390/ma15031018. PMID: 35160961; PMCID: PMC8840750.

Wu S, Liu X, Yeung K W K, Liu C and Yang X. Biomimetic porous scaffolds for bone tissue engineering *Mater. Sci. Eng. R Reports*. 2014, 80: 1–36.

## APÊNDICE – Relatório de Atividades

As ilustrações abaixo demonstram que parte da tese do aluno supracitado já se encontra publicada em periódicos nacionais e internacionais, bem como apresentada em eventos de caráter científico.

Figura 16 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 17 – Palestra da Plenum no Latin American Osseointegration Congress 2022



Fonte: Elaborada pelo autor.

## Figura 18 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese



Article

# Bond Strength between Different Zirconia-Based Ceramics and Resin Cement before and after Aging

Marcos Paulo Motta Silveira <sup>1</sup>, Nathália de Carvalho Ramos <sup>1,2</sup>, Guilherme da Rocha Scalzer Lopes <sup>1</sup>, João Paulo Mendes Tribst <sup>3,\*</sup> and Marco Antonio Bottino <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Biomaterials, Dental Materials and Prosthodontics, Institute of Science and Technology, São Paulo State University (Unesp), São José dos Campos 12245-000, Brazil

<sup>2</sup> Department of Dentistry, University of Taubaté (UNITAU), Taubaté 12020-340, Brazil

<sup>3</sup> Department of Oral Regenerative Medicine, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), The University of Amsterdam and Vrije Universiteit, 1081 LA Amsterdam, The Netherlands

\* Correspondence: j.p.mendes.tribst@acta.nl

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the bond strength of different stabilized zirconias with resin cement and evaluate the susceptibility to thermal aging of the adhesive interface. Zirconia discs (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany) were obtained: 3Y-TZP first generation (translucent), 3Y-TZP third generation (high-translucent), 4Y-PSZ (super-translucent), and 5Y-PSZ (extra-translucent). Each disc had its surface polished with a standardized protocol. The specimens were cleaned and sintered according to the manufacturer's recommendation (conventionally: ~12 h). However, 3Y-TZP groups were subdivided into subgroups and sintered following the speed sintering process (~80 min). After their sintering shrinkage, the dimensions of the final discs were 12 mm × 2 mm. The specimens were blasted with 50 µm aluminum oxide (1 cm distance, 2 bar pressure, and 2 s/cm<sup>2</sup>), cleaned, and silanized with an MDP primer. After the surface treatment, a resin cement cylinder was built on the ceramic surface (Ø = 1 mm; h = 2 mm). Half of the specimens of each group were subjected to a microshear bond strength test in a universal testing machine after 24 h of cementation, while the other half were subjected to thermocycling prior to the bond strength test (6000 cycles; 5 °C–55 °C, 30 s for each bath). Bond strength data were submitted to two-way ANOVA and Tukey's test (95%), as well as Weibull analysis, to determine adhesive reliability. Bond strength was statistically different among the materials, and only 3Y-TZP third generation and 4Y-PSZ were not affected by thermal aging. The speed sintering method was statistically similar to the conventional process for 3Y-TZP first generation. However, 3Y-TZP third generation showed higher immediate bond strength when speed sintered. The Weibull modulus was superior for conventional 3Y-TZP third generation and 4Y-PSZ. In this study, thermal aging caused a degradation of the adhesive interfaces of 3Y-TZP first generation and 5Y-PSZ with the resin cement; however, it did not affect the interfaces of 3Y-TZP third generation and 4Y-PSZ. The speed sintering method did not affect the long-term bond strength with the resin cement. Adhesive reliability was superior for 3Y-TZP third generation and 4Y-PSZ.

**Keywords:** zirconia; dental materials; resin cements; microshear bond strength



**Citation:** Silveira, M.P.M.; Ramos, N.d.C.; Lopes, G.d.R.S.; Tribst, J.P.M.; Bottino, M.A. Bond Strength between Different Zirconia-Based Ceramics and Resin Cement before and after Aging. *Coatings* **2022**, *12*, 1601. <https://doi.org/10.3390/coatings12101601>

Academic Editor: Vinicius Rosa

Received: 15 September 2022

Accepted: 18 October 2022

Published: 21 October 2022

Corrected: 23 March 2023

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Several dental ceramics have been developed with different compositions, microstructures, and indications. Efforts are directed concerning the development of biomaterials with adequate mechanical properties combined with favorable aesthetics. Zirconia is a polycrystalline ceramic widely used in dentistry that can present different translucency levels and compositions [1,2].

Zirconia is used in several dental specialties [3], and its mechanical properties are already well-established in the scientific literature as one of the strongest restorative materials [4,5]. Its clinical limitations are bond strength and translucency, which are inferior

Figura 19 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese




---

Article

## Influence of Abutment Design on Biomechanical Behavior to Support a Screw-Retained 3-Unit Fixed Partial Denture

Guilherme da Rocha Scalzer Lopes <sup>1</sup>, Jefferson David Melo de Matos <sup>1,2</sup>, Daher Antonio Queiroz <sup>3,\*</sup>, João Paulo Mendes Tribst <sup>4</sup>, Nathália de Carvalho Ramos <sup>1,5</sup>, Mateus Garcia Rocha <sup>2</sup>, Adriano Baldotto Barbosa <sup>6</sup>, Marco Antonio Bottino <sup>1</sup>, Alexandre Luiz Souto Borges <sup>1</sup> and Renato Sussumu Nishioka <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Biomaterials, Dental Materials and Prosthodontics, Institute of Science and Technology, São Paulo State University (Unesp), São José dos Campos 12245-000, Brazil

<sup>2</sup> Center for Dental Biomaterials, Department of Restorative Dental Sciences, University of Florida (UF Health), Gainesville, FL 32611, USA

<sup>3</sup> Department of Restorative Dentistry & Prosthodontics, The University of Texas Health Science Center at Houston (UTHealth) School of Dentistry, Houston, TX 77054, USA

<sup>4</sup> Department of Oral Regenerative Medicine, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), The University of Amsterdam and Vrije Universiteit, 1081 LA Amsterdam, The Netherlands

<sup>5</sup> Department of Dentistry, Universidade São Francisco (USF), Bragança Paulista 12916-900, Brazil

<sup>6</sup> Midwest Dental Arts Inc., Palm Bay, FL 32909, USA

\* Correspondence: [daher.antonio.queiroz@uth.tmc.edu](mailto:daher.antonio.queiroz@uth.tmc.edu)

**Abstract:** This study aimed to evaluate the biomechanical behavior of Morse taper implants using different abutments (CMN abutment [(CMN Group) and miniconical abutments [MC Group]), indicated to support a screw-retained 3-unit fixed partial denture. For the in vitro test, polyurethane blocks were fabricated for both groups ( $n = 10$ ) and received three implants in the “offset” configuration and their respective abutments (CMN or MC) with a 3-unit fixed partial denture. Four strain gauges were bonded to the surface of each block. For the finite element analysis, 3D models of both groups were created and exported to the analysis software to perform static structural analysis. All structures were considered homogeneous, isotropic, and elastic. The contacts were considered non-linear with a friction coefficient of 0.3 between metallic structures and considered bonded between the implant and substrate. An axial load of 300 N was applied in three points (A, B, and C) for both methods. The microstrain and the maximum principal stress were considered as analysis criteria. The obtained data were submitted to the Mann–Whitney, Kruskal–Wallis, and Dunn’s multiple comparison test ( $\alpha = 5\%$ ). The results obtained by strain gauge showed no statistical difference ( $p = 0.879$ ) between the CMN ( $645.3 \pm 309.2 \mu\epsilon$ ) and MC ( $639.3 \pm 278.8 \mu\epsilon$ ) and allowed the validation of computational models with a difference of 6.3% and 6.4% for the microstrains in the CMN and MC groups, respectively. Similarly, the results presented by the computational models showed no statistical difference ( $p = 0.932$ ) for the CMN ( $605.1 \pm 358.6 \mu\epsilon$ ) and MC ( $598.7 \pm 357.9 \mu\epsilon$ ) groups. The study concluded that under favorable conditions the use of CMN or MP abutments to support a fixed partial denture can be indicated.

**Keywords:** finite element analysis; strain gauge; biomechanics; dental implants

 **check for updates**

**Citation:** Lopes, G.d.R.S.; Matos, J.D.M.d.; Queiroz, D.A.; Tribst, J.P.M.; Ramos, N.d.C.; Rocha, M.G.; Barbosa, A.B.; Bottino, M.A.; Borges, A.L.S.; Nishioka, R.S. Influence of Abutment Design on Biomechanical Behavior to Support a Screw-Retained 3-Unit Fixed Partial Denture. *Materials* **2022**, *15*, 6235. <https://doi.org/10.3390/ma15186235>

Academic Editor: Bongju Kim

Received: 26 July 2022  
Accepted: 5 September 2022  
Published: 8 September 2022

**Publisher’s Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

---

*Materials* **2022**, *15*, 6235. <https://doi.org/10.3390/ma15186235> <https://www.mdpi.com/journal/materials>

Figura 20 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese



Article

## Biomechanical Behavior of Different Miniplate Designs for Skeletal Anchorage in the Anterior Open Bite Treatment

Ana Paula Macarani Ielpo <sup>1</sup>, Jefferson David Melo de Matos <sup>1,2</sup>, Pedro Yoshito Noritomi <sup>3</sup>,  
Guilherme da Rocha Scalzer Lopes <sup>1</sup>, Daher Antonio Queiroz <sup>4,\*</sup>, Alexandre Luiz Souto Borges <sup>1</sup>  
and Rodrigo Dias Nascimento <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Biomaterials, Dental Materials, and Prosthodontics, Institute of Science and Technology, São Paulo State University (Unesp), São José dos Campos 05508-070, SP, Brazil

<sup>2</sup> Department of Restorative Dental Sciences, Center for Dental Biomaterials, University of Florida (UFHealth), Gainesville, FL 32611, USA

<sup>3</sup> Renato Archer Information Technology Center, Campinas 13069-901, SP, Brazil

<sup>4</sup> Department of Restorative Dentistry & Prosthodontics, School of Dentistry, The University of Texas Health Science Center Houston (UTHealth), Houston, TX 77054, USA

\* Correspondence: daher.antonio.queiroz@uth.tmc.edu

**Abstract:** This study aimed to evaluate the stress distribution and mechanical behavior of miniplate designs to skeletal anchorage for the treatment of anterior open bite in adult patients. A complete hemimaxilla, teeth, brackets, transpalatal bar, and three miniplates were virtually modeled. I-, Y-, and T-shaped miniplates were installed in the area of the alveolar zygomatic crest. The assembly was constricted and three intrusive forces (2, 4, and 6 N) were applied to the maxillary molars and anchorage according to the miniplates. All materials were considered homogeneous, elastic, and linear; the mesh was 1,800,000 hexahedrons with 2,800,000 nodes on average. Displacement, maximum principal stress, and von Mises stress were evaluated according to the shape of the anchorage device and intrusive force. The miniplate configurations resulted in different stress and displacement intensities in the bone tissue and plate; these stresses were always located in the same regions and were within physiological limits. The Y-plate showed the best performance since its application generated less stress in bone tissue with less displacement.

**Keywords:** orthodontic anchorage; miniplates; anterior open bite



**Citation:** Ielpo, A.P.M.; de Matos, J.D.M.; Noritomi, P.Y.; da Rocha Scalzer Lopes, G.; Queiroz, D.A.; Borges, A.L.S.; Nascimento, R.D. Biomechanical Behavior of Different Miniplate Designs for Skeletal Anchorage in the Anterior Open Bite Treatment. *Coatings* **2022**, *12*, 1898. <https://doi.org/10.3390/coatings12121898>

Academic Editors: Egemen Avcu, Mert Guney and Yasemin Yildiran Avcu

Received: 1 November 2022

Accepted: 2 December 2022

Published: 5 December 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### 1. Introduction

Anterior open bite (AOB) has a multifactorial etiology and can be divided into dental or skeletal open bites. The diagnosis of the type of open bite is essential for correct treatment [1].

Providing adequate anchorage is necessary for the treatment of malocclusion. In the case of severe AOB, orthognathic surgery is one of the therapeutic options. However, in addition to its higher risks and costs, and the fact that it can only be performed after the end of the growth cycle, this procedure encounters resistance from some patients. In some non-surgical cases, the intrusion of the maxillary molars with the aid of skeletal anchorage should be performed. This approach permits to balance of existing morphological differences and improves facial esthetics [2]. Skeletal anchorage devices such as mini-implants, miniplates, and osseointegrated implants have been widely used in these situations [3–5]. Previous studies have evaluated mandibular molar intrusion using miniplates in the cortical bone, more precisely in the areas of the apex of the first and second molars, and reported intrusion movement of 3 to 5 mm without major changes in the occlusal plane. Using a fixed miniplate anchorage, the magnitude of the force can be better controlled, thus reducing root resorption by lowering the forces applied [6,7]. In this sense, the present study evaluated the biomechanical behavior of different anchorage plates, since the use of

Figura 21 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese



Article

## Influence of CAD/CAM Abutment Heights on the Biomechanical Behavior of Zirconia Single Crowns

Jefferson David Melo de Matos <sup>1,2</sup>, Leonardo Silva Gomes <sup>2</sup>, Nathália de Carvalho Ramos <sup>2,3,4</sup>, Daher Antonio Queiroz <sup>5</sup>, João Paulo Mendes Tribst <sup>6,\*</sup>, Tiago Moreira Bastos Campos <sup>7</sup>, Alexandre Luiz Souto Borges <sup>2</sup>, Guilherme da Rocha Scalzer Lopes <sup>2</sup>, Marco Antonio Bottino <sup>2</sup> and Tarcisio José Arruda Paes Junior <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Restorative Dental Sciences, Center for Dental Biomaterials, University of Florida, Gainesville, FL 32610, USA

<sup>2</sup> Department of Biomaterials, Dental Materials, and Prosthodontics, Institute of Science and Technology, São Paulo State University (UNESP), São José dos Campos 12245-000, SP, Brazil

<sup>3</sup> Department of Dentistry, Universidade São Francisco (USF), Bragança Paulista 12916-900, SP, Brazil

<sup>4</sup> Postgraduate Program in Dentistry, Department Dentistry, University of Taubaté (UNITAU), Taubaté 12080-000, SP, Brazil

<sup>5</sup> Department of Restorative Dentistry & Prosthodontics, School of Dentistry, The University of Texas Health Science Center at Houston (UTHealth), Houston, TX 77054, USA

<sup>6</sup> Department of Oral Regenerative Medicine, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), University of Amsterdam and Vrije Universiteit, 1081 Amsterdam, The Netherlands

<sup>7</sup> Department Physics, Technological Institute of Aeronautics, São José dos Campos 12228-900, SP, Brazil

\* Correspondence: j.p.mendes.tribst@acta.nl

**Citation:** Matos, J.D.M.d.; Gomes, L.S.; Ramos, N.d.C.; Queiroz, D.A.; Tribst, J.P.M.; Campos, T.M.B.; Borges, A.L.S.; Lopes, G.d.R.S.; Bottino, M.A.; Paes Junior, T.J.A. Influence of CAD/CAM Abutment Heights on the Biomechanical Behavior of Zirconia Single Crowns. *Metals* **2022**, *12*, 2025. <https://doi.org/10.3390/met12122025>

Academic Editor: Alberto Moreira Jorge Junior

Received: 27 October 2022

Accepted: 22 November 2022

Published: 25 November 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the author. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** The biomechanical behavior of the universal link (titanium base) prosthetic abutment with different heights in implant-supported restorations was evaluated. Forty regular implants (4 × 10 mm) in titanium were used, divided into two groups according to the abutment height ( $n = 20$ ): 4.5 × 4 mm (short) and 4.5 × 5.5 mm (long). Using CAD/CAM technology, zirconia crowns were milled and cemented onto the prosthetic abutments. Half of the specimens were submitted to the initial maximum fracture load test in a universal testing machine. The long abutments presented fracture load ( $41.1 \pm 6.96$  kgf) statistically similar to the short abutments ( $49.5 \pm 7.68$  kgf). The other half of the specimens were submitted to mechanical cycling (2,000,000 cycles, 2 Hz with a stainless-steel antagonist with a diameter of 1.6 mm), following ISO 14801:2007. Subsequently, the survival of the specimens was evaluated using the survival analysis function, Kaplan–Meier and Mentel–Cox (log-rank) ( $p < 0.05$ ). The finite element analysis was performed in similar conditions to those used for the in vitro test through computer-aided engineering software (version 19.2, ANSYS Inc., Houston, TX, USA). The biomechanical behavior of both models was similar regardless of the evaluated structure of the set. It was concluded that both short and long abutment presents promising fatigue behavior and stress distribution for use in long-term implant-supported restorations.

**Keywords:** dental abutments; dental implants; fatigue; dental materials; biomechanical behavior; finite element analysis

### 1. Introduction

Dental implants have been used for several decades and the oral rehabilitation of edentulous patients has been improved with their use. However, limitations continue to exist in the area of implant biomechanics and osseointegration maintenance, with regard to a reliable connection between the implant and restoration; this is essential for clinical success [1]. According to different prosthetic systems, the crown can be either directly retained on the implant platform or on the abutment with a prosthetic screw or cement [2]. The use of CAD/CAM technologies allows the manufacture of customized hybrid

Figura 22 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese



Article

## Influence of the Peek Abutments on Mechanical Behavior of the Internal Connections Single Implant

Jefferson David Melo de Matos <sup>1,2</sup>, Guilherme da Rocha Scalzer Lopes <sup>2</sup>, Daher Antonio Queiroz <sup>3,\*</sup>, André Luiz Jesus Pereira <sup>4</sup>, Mário Alexandre Coelho Sinhoreti <sup>5</sup>, Nathália de Carvalho Ramos <sup>2,6,7</sup>, Vinicius Lino <sup>2</sup>, Flavio Rosa de Oliveira <sup>2</sup>, Alexandre Luiz Souto Borges <sup>2</sup> and Marco Antonio Bottino <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Restorative Dental Sciences, Center for Dental Biomaterials, University of Florida (UF Health), Gainesville, FL 32601, USA

<sup>2</sup> Department of Biomaterials, Dental Materials, and Prosthodontics, São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology, São José dos Campos 12228-900, SP, Brazil

<sup>3</sup> Department of Restorative Dentistry & Prosthodontics, School of Dentistry, The University of Texas Health Science Center at Houston (UTHealth), Houston, TX 77054, USA

<sup>4</sup> Plasmas and Processes Laboratory, Physics Department, Aeronautics Technological Institute (ITA), 50 Marechal Eduardo Gomes Square, São José dos Campos 12228-900, SP, Brazil

<sup>5</sup> Department of Restorative Dentistry, Dental Materials Division, Piracicaba Dental School (FOP-UNICAMP), Piracicaba 13416-000, SP, Brazil

<sup>6</sup> Department of Dentistry, Universidade São Francisco (USF), Bragança Paulista 12916-900, SP, Brazil

<sup>7</sup> Department of Dentistry, Postgraduate Program in Dentistry, University of Taubaté (UNITAU), Taubaté 12080-000, SP, Brazil

\* Correspondence: daher.antonio.queiroz@uth.tmc.edu

**Citation:** Matos, J.D.M.d.; Lopes, G.d.R.S.; Queiroz, D.A.; Pereira, A.L.J.; Sinhoreti, M.A.C.; Ramos, N.d.C.; Lino, V.; de Oliveira, F.R.; Borges, A.L.S.; Bottino, M.A. Influence of the Peek Abutments on Mechanical Behavior of the Internal Connections Single Implant. *Materials* **2022**, *15*, 8133. <https://doi.org/10.3390/ma15228133>

Academic Editors:

Simona Liliana Iconaru,  
Massimo Carossa  
and Stefano Carossa

Received: 27 September 2022

Accepted: 4 November 2022

Published: 16 November 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** The present study aimed to evaluate the biomechanical behavior of PEEK abutments with different heights on single titanium implants. To investigate the implant surface, different tests (scanning electron microscopy, energy-dispersive X-ray, and X-ray diffraction) were adopted. Herein, 20 implants received the 4.5 × 4.0 mm PEEK short abutment (SA) and 20 received the 4.5 × 5.5 mm PEEK long abutment (LA). The abutments were installed using dual-cure resin cement. To determine the fatigue test, two specimens from each group were submitted to the single load fracture test. For this, the samples were submitted to a compressive load of (0.5 mm/min; 30°) in a universal testing machine. For the fatigue test, the samples received 2,000,000 cycles (2 Hz; 30°). The number of cycles and the load test was analyzed by the reliability software SPSS statistics using Kaplan-Meier and Mantel-Cox tests (log-rank) ( $p < 0.05$ ). The maximum load showed no statistically significant differences ( $p = 0.189$ ) for the SA group (64.1 kgf) and the LA group (56.5 kgf). The study groups were statistically different regarding the number of cycles ( $p = 0.022$ ) and fracture strength ( $p = 0.001$ ). PEEK abutments can be indicated with caution for implant-supported rehabilitation and may be suitable as temporary rehabilitation.

**Keywords:** bioengineering; dental abutments; dental implants; dental materials; polyetheretherketone

### 1. Introduction

The use of dental implants for oral rehabilitation has become a common condition in the clinical routine since it improves individuals' quality of life [1]. In this sense, the main type of internal connection used in oral rehabilitation is the morse taper system, since it is an implant system with a mechanically precise internal connection with the prosthetic component, in which the abutment has a narrower shape in its base, which is coupled with the morse fitting/connection inside the implant, with intimate contact. This intimate contact is defined by some authors as a cold soldering system or fitting through intimate mechanical coupling without heat [2,3]. In addition, most systems on the market have

Figura 23 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese

Review

## Dental Ceramics: Fabrication Methods and Aesthetic Characterization

Jefferson David Melo de Matos <sup>1,2</sup>, Guilherme Rocha Scalzer Lopes <sup>2</sup>, Daher Antonio Queiroz <sup>3,\*</sup>, Leonardo Jiro Nomura Nakano <sup>2</sup>, Nathália Carvalho Ramos Ribeiro <sup>2,4,5</sup>, Adriano Baldotto Barbosa <sup>6</sup>, Lilian Costa Anami <sup>2</sup> and Marco Antonio Bottino <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Restorative Dental Sciences, Center for Dental Biomaterials, University of Florida (UF Health), Gainesville, FL 32611, USA

<sup>2</sup> Department of Biomaterials, Dental Materials and Prosthodontics, Institute of Science and Technology, São Paulo State University (Unesp), São José dos Campos 05508-070, SP, Brazil

<sup>3</sup> The University of Texas Health Science Center, Department of Restorative Dentistry & Prosthodontics, Houston (UTHealth) School of Dentistry, Houston, TX 77054, USA

<sup>4</sup> Department of Dentistry, Universidade São Francisco (USF), Bragança Paulista 12916-900, SP, Brazil

<sup>5</sup> Postgraduate Program in Dentistry, Department Dentistry, University of Taubaté (UNITAU), Taubaté 12080-000, SP, Brazil

<sup>6</sup> Midwest Dental Arts Inc., Palm Bay, FL 32909, USA

\* Correspondence: daher.antonio.queiroz@uth.tmc.edu

**Abstract:** This study aimed to describe different staining protocols for the main dental ceramics. A bibliographic search was conducted in the main health databases PubMed and Scholar Google, in which 100 studies published were collected. In vitro and in silico studies, case reports, and systematic and literature reviews, on ceramic materials, were included. Therefore, articles that did not deal with the topic addressed were excluded. Ceramics can be classified into glass-matrix ceramics (etchable), polycrystalline (non-etchable), and hybrid ceramics. In this context, different fabrication methods, method indications, and characterization layers can be used for each ceramic group and numerous protocols differ according to the choice of material. Several ceramic systems are available, thus professionals in the prosthetic area need constant updates on dental ceramic restorations and their proper characterizations.

**Keywords:** ceramics; dental materials; dentistry; dental research



**Citation:** de Matos, J.D.M.; Lopes, G.R.S.; Queiroz, D.A.; Nakano, L.J.N.; Ribeiro, N.C.R.; Barbosa, A.B.; Anami, L.C.; Bottino, M.A. Dental Ceramics: Fabrication Methods and Aesthetic Characterization. *Coatings* **2022**, *12*, 1228. <https://doi.org/10.3390/coatings12081228>

Academic Editor: Jiamao Li

Received: 14 July 2022

Accepted: 16 August 2022

Published: 22 August 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### 1. Introduction

In recent decades, the dentistry community has studied restorative materials with excellent optical properties and able to restore form and function, given the mechanical requirements of the anterior and posterior areas [1,2].

Metal-free restorations have gained notoriety, especially for rehabilitation with superior aesthetic outcomes [3]. These materials have properties that justify their use, including high resistance to compression and abrasion, high chemical stability, high tensile strength, biocompatibility, favorable aesthetics, translucency, opalescence, opacity, fluorescence, and coefficient thermal expansion similar to the natural tooth [4]. Thus, several ceramic systems are available, and they can be classified as glass-matrix, polycrystalline, or hybrid (resin-matrix) ceramics [5].

To reduce the failures caused by different coefficients of linear thermal expansion between framework and veneer ceramics, it was proposed to simplify the technique and use monolithic ceramic restorations [6]. However, single-crown restorations can present an aesthetic compromise, especially in cases that require greater detail [7,8].

To eliminate this aesthetic issue, it was proposed to add staining layers on the surface of ceramic materials [9,10]. These characterizations make it possible to personalize the restorations and guarantee a satisfactory aesthetic [11,12]. In turn, this characterization

Figura 24 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese

Review

## Dental Ceramics: Fabrication Methods and Aesthetic Characterization

Jefferson David Melo de Matos <sup>1,2</sup>, Guilherme Rocha Scalzer Lopes <sup>2</sup>, Daher Antonio Queiroz <sup>3,\*</sup>, Leonardo Jiro Nomura Nakano <sup>2</sup>, Nathália Carvalho Ramos Ribeiro <sup>2,4,5</sup>, Adriano Baldotto Barbosa <sup>6</sup>, Lilian Costa Anami <sup>2</sup> and Marco Antonio Bottino <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Restorative Dental Sciences, Center for Dental Biomaterials, University of Florida (UF Health), Gainesville, FL 32611, USA

<sup>2</sup> Department of Biomaterials, Dental Materials and Prosthodontics, Institute of Science and Technology, São Paulo State University (Unesp), São José dos Campos 05508-070, SP, Brazil

<sup>3</sup> The University of Texas Health Science Center, Department of Restorative Dentistry & Prosthodontics, Houston (UTHealth) School of Dentistry, Houston, TX 77054, USA

<sup>4</sup> Department of Dentistry, Universidade São Francisco (USF), Bragança Paulista 12916-900, SP, Brazil

<sup>5</sup> Postgraduate Program in Dentistry, Department Dentistry, University of Taubaté (UNITAU), Taubaté 12080-000, SP, Brazil

<sup>6</sup> Midwest Dental Arts Inc., Palm Bay, FL 32909, USA

\* Correspondence: daher.antonio.queiroz@uth.tmc.edu

**Abstract:** This study aimed to describe different staining protocols for the main dental ceramics. A bibliographic search was conducted in the main health databases PubMed and Scholar Google, in which 100 studies published were collected. In vitro and in silico studies, case reports, and systematic and literature reviews, on ceramic materials, were included. Therefore, articles that did not deal with the topic addressed were excluded. Ceramics can be classified into glass-matrix ceramics (etchable), polycrystalline (non-etchable), and hybrid ceramics. In this context, different fabrication methods, method indications, and characterization layers can be used for each ceramic group and numerous protocols differ according to the choice of material. Several ceramic systems are available, thus professionals in the prosthetic area need constant updates on dental ceramic restorations and their proper characterizations.

**Keywords:** ceramics; dental materials; dentistry; dental research



**Citation:** de Matos, J.D.M.; Lopes, G.R.S.; Queiroz, D.A.; Nakano, L.J.N.; Ribeiro, N.C.R.; Barbosa, A.B.; Anami, L.C.; Bottino, M.A. Dental Ceramics: Fabrication Methods and Aesthetic Characterization. *Coatings* **2022**, *12*, 1228. <https://doi.org/10.3390/coatings12081228>

Academic Editor: Jiamao Li

Received: 14 July 2022

Accepted: 16 August 2022

Published: 22 August 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

### 1. Introduction

In recent decades, the dentistry community has studied restorative materials with excellent optical properties and able to restore form and function, given the mechanical requirements of the anterior and posterior areas [1,2].

Metal-free restorations have gained notoriety, especially for rehabilitation with superior aesthetic outcomes [3]. These materials have properties that justify their use, including high resistance to compression and abrasion, high chemical stability, high tensile strength, biocompatibility, favorable aesthetics, translucency, opalescence, opacity, fluorescence, and coefficient thermal expansion similar to the natural tooth [4]. Thus, several ceramic systems are available, and they can be classified as glass-matrix, polycrystalline, or hybrid (resin-matrix) ceramics [5].

To reduce the failures caused by different coefficients of linear thermal expansion between framework and veneer ceramics, it was proposed to simplify the technique and use monolithic ceramic restorations [6]. However, single-crown restorations can present an aesthetic compromise, especially in cases that require greater detail [7,8].

To eliminate this aesthetic issue, it was proposed to add staining layers on the surface of ceramic materials [9,10]. These characterizations make it possible to personalize the restorations and guarantee a satisfactory aesthetic [11,12]. In turn, this characterization

Figura 25 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 26 – Capas dos artigos publicados relacionado com a tese



Figura 27 – Capas dos artigos publicados relacionado com a tese

*Int. J. Odontostomat.*,  
16(2):227-234, 2022.

## Dental and Periodontal Conditions in Alcoholics from a Brazilian Recovery Center

Las Condiciones Dentales y Periodontales en Alcohólicos  
de un Centro de Recuperación Brasileño

Lorena Lirio Sossai<sup>1</sup>; Guilherme da Rocha Scalzer Lopes<sup>2</sup>; Lorrany Barros Del Piero<sup>1</sup>; Maria da Penha Zago Gomes<sup>3</sup>; Stephanie Rezende Alvarenga Moulin<sup>4</sup>; Jefferson David Melo de Matos<sup>2</sup>; Leonardo Jiro Nomura Nakano<sup>5</sup>; Valdir Cabral Andrade<sup>5</sup>; Marco Antonio Bottino<sup>2</sup>; Selva Maria Gonçalves Guerra<sup>6</sup> & Alfredo Feitosa<sup>7</sup>

SOSSAI, L. L.; LOPES, G. R. S.; DEL PIERO, L. B.; ZAGO-GOMES, M. P.; MOULIN, S. R. A.; MATOS, J. D. M.; NAKANO, L. J. N.; ANDRADE, V. C.; BOTTINO, M. A.; GUERRA, S. M. G. & FEITOSA, A. Dental and periodontal conditions in alcoholics from a Brazilian recovery center. *Int. J. Odontostomat.*, 16(2):227-234, 2022.

**ABSTRACT:** The aim of this study was to evaluate the dental and periodontal condition of alcohol-dependents from a Brazilian Recovery Center. Sixty male individuals (30 alcoholic and 30 non-alcoholic) and aged between 32 and 72 years old were clinically evaluated. Interviews, dental and periodontal clinical examinations were obtained from all participants. The Pearson Chi-Square Test and Exact Fisher test were used to compare categorical data. The t-Student's test was adopted for non-categorical data. Multiple logistic regressions were used to evaluate the association of variables in the groups. The alcoholics were younger, consumed more tobacco, had lower frequency of tooth brushing and dental flossing, higher number of missing and decayed teeth, more residual root, and more teeth with presence of visible plaque index (OR = 0.5, 95 % CI = 4.4 to 5.5), when compared to the non-alcoholics. Alcoholics at the Recovery Center performed poor oral hygiene, had higher number of sites with periodontal disease, and worse oral hygiene than non-alcoholic individuals. As regards professional follow-up, there was similarity between the groups evaluated.

**KEY WORDS:** dentistry, alcoholism, dental caries, periodontal diseases.

### INTRODUCTION

Alcohol abuse or dependence is an important risk factor for many diseases and incapacities that may threaten people's health. In 2012, 5.9 % of all deaths and 5.1 % of all cases of diseases in the world were correlated with the consumption of alcoholic beverages (World Health Organization, 2014). In Brazil, 48 % of the population report they do not consume alcoholic beverages. However, the consumption of alcohol is very high within those who consume, resulting in 3 % of harmful use, 9 % of dependents, and 12 % of alcohol-related illnesses (Laranjeira *et al.*, 2007a). A previous

study showed that 6.8 % of population was alcohol-dependent, and that the 20 % of adults who drank were responsible for 56 % of all the alcohol consumed by adults (Laranjeira *et al.*, 2007b).

The tissue damage stimulated by alcohol consumption is related to the toxicity of its main metabolite, acetaldehyde, and to the increase in formation of free radicals (such as hydrogen peroxide). Other complications of chronic alcohol users include nutritional deficiency (Manzo-Avalos & Saavedra-

<sup>1</sup> Clinical Dentistry Graduate Program, Federal University of Espírito Santo/UFES, Vitória - ES, Brazil.

<sup>2</sup> Department of Prosthodontics and Dental Materials, São Paulo State University (UNESP) – Institute of Science and Technology, São José dos Campos - SP, Brazil.

<sup>3</sup> Department of Clinical Medical, Federal University of Espírito Santo/UFES, Vitória - ES, Brazil.

<sup>4</sup> Department of Physiological Sciences, Federal University of Espírito Santo/UFES, Vitória - ES, Brazil.

<sup>5</sup> Department of Dentistry and Oral and Maxillofacial Surgery, Universidade Federal de Juiz de Fora UFJF, Governador Valadares, MG, Brazil.

<sup>6</sup> Department of Dental Prosthesis, Federal University of Espírito Santo/UFES, Vitória - ES, Brazil.

<sup>7</sup> Department of Clinical Dentistry/Clinical Dentistry Graduate Program, Federal University of Espírito Santo/UFES, Vitória - ES, Brazil.

Received: 2021-06-10 Accepted: 2022-05-08

## Figura 28 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese



Article

# Influence of Framework Material and Posterior Implant Angulation in Full-Arch All-on-4 Implant-Supported Prosthesis Stress Concentration

João Paulo Mendes Tribst<sup>1</sup>, Dayana Campanelli de Morais<sup>2</sup>, Jefferson David Melo de Matos<sup>2</sup>,  
Guilherme da Rocha Scalzer Lopes<sup>2</sup>, Amanda Maria de Oliveira Dal Piva<sup>1</sup>, Alexandre Luiz Souto Borges<sup>2</sup>,  
Marco Antonio Bottino<sup>2</sup>, Antonio Lanzotti<sup>3</sup>, Massimo Martorelli<sup>3,\*</sup> and Pietro Ausiello<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Dental Materials, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), University of Amsterdam and Vrije Universiteit Amsterdam, 1081 LA Amsterdam, The Netherlands; joao.tribst@gmail.com (J.P.M.T.); amodalpiva@gmail.com (A.M.d.O.D.P.)

<sup>2</sup> Department of Dental Materials and Prosthodontics, Institute of Science and Technology, São Paulo State University-UNESP, São José Dos Campos 12220000, Brazil; dayana.morais@ict.unesp.br (D.C.d.M.); jefferson.matos@ict.unesp.br (J.D.M.d.M.); guilherme.lopes@ict.unesp.br (G.d.R.S.L.); alexandre.borges@unesp.br (A.L.S.B.); marco.bottino@unesp.br (M.A.B.)

<sup>3</sup> Fraunhofer JL IDEAS, Department of Industrial Engineering, University of Naples Federico II, 80125 Naples, Italy; antonio.lanzotti@unina.it

<sup>4</sup> School of Dentistry, University of Naples Federico II, via S. Pansini 5, 80131 Naples, Italy; pietausi@unina.it

\* Correspondence: massimo.martorelli@unina.it

**Citation:** Tribst, J.P.M.; Campanelli de Morais, D.; Melo de Matos, J.D.; Lopes, G.d.R.S.; Dal Piva, A.M.d.O.; Souto Borges, A.L.; Bottino, M.A.; Lanzotti, A.; Martorelli, M.; Ausiello, P. Influence of Framework Material and Posterior Implant Angulation in the Full-Arch All-on-4 Implant-Supported Prosthesis Stress Concentration. *Dent. J.* **2022**, *10*, 12. <https://doi.org/10.3390/dj10010012>

Academic Editors: Gabriele Cervino, Till Dammachke, Hans S. Malmstrom and Jjiang-Huei Jeng

Received: 13 December 2021

Accepted: 12 January 2022

Published: 14 January 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** This study evaluated the influence of distal implants angulation and framework material in the stress concentration of an All-on-4 full-arch prosthesis. A full-arch implant-supported prosthesis 3D model was created with different distal implant angulations and cantilever arms (30° with 10-millimeter cantilever; 45° with 10-millimeter cantilever and 45° with 6-millimeter cantilever) and framework materials (Cobalt–chrome [CoCr alloy], Yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal [Y-TZP] and polyetheretherketone [PEEK]). Each solid was imported to computer-aided engineering software, and tetrahedral elements formed the mesh. Material properties were assigned to each solid with isotropic and homogeneous behavior. The contacts were considered bonded. A vertical load of 200 N was applied in the distal region of the cantilever arm, and stress was evaluated in Von Mises ( $\sigma_{VM}$ ) for prosthesis components and the Maximum ( $\sigma_{MAX}$ ) and Minimum ( $\sigma_{MIN}$ ) Principal Stresses for the bone. Distal implants angled in 45° with a 10-millimeter cantilever arm showed the highest stress concentration for all structures with higher stress magnitudes when the PEEK framework was considered. However, distal implants angled in 45° with a 6-millimeter cantilever arm showed promising mechanical responses with the lowest stress peaks. For the All-on-4 concept, a 45° distal implants angulation is only beneficial if it is possible to reduce the cantilever's length; otherwise, the use of 30° should be considered. Comparing with PEEK, the YTZP and CoCr concentrated stress in the framework structure, reducing the stress in the prosthetic screw.

**Keywords:** dental implants; finite element analysis; polymers; prosthodontics

## 1. Introduction


Implant prostheses rehabilitation has proven efficacy in the treatment of fully edentulous patients in long-term studies [1,2]. However, the process of bone resorption due to physiological and pathological factors [3] complicates planning for the installation of posterior implants as a prosthetic support [4,5].

The All-on-4 concept [6] consists of the installation of four implants in the medial region of the maxilla or jaw to support fixed or removable prostheses that are immediate,

Figura 29 – Capas dos artigos publicados relacionado com à tese

## ORIGINAL ARTICLE OPEN ACCESS

## Reinforcement Positioning in Custom-Made Mouthguards for Maxillofacial Trauma Protection: A Combined In Vitro and In Silico Analyses

Talita Suelen de Queiroz<sup>1</sup> | João Paulo Mendes Tribst<sup>2</sup>  | Larissa Haddad e Borro<sup>1</sup> | Guilherme da Rocha Scalzer Lopes<sup>1</sup> | Alexandre Luiz Souto Borges<sup>1</sup> | Tarcisio Jose de Arruda Paes Junior<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Dental Materials and Prosthodontics, São Paulo State University (UNESP), São José Dos Campos, São Paulo, Brazil | <sup>2</sup>Department of Reconstructive Oral Care, Academic Centre for Dentistry Amsterdam (ACTA), University of Amsterdam and Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands

**Correspondence:** João Paulo Mendes Tribst ([j.p.mendes.tribst@acta.nl](mailto:j.p.mendes.tribst@acta.nl))

**Received:** 6 February 2025 | **Revised:** 28 February 2025 | **Accepted:** 17 March 2025

**Funding:** This study was supported by the Department of Dental Materials and Prosthodontics of the Science and Technology Institute of the Sao Paulo State University (UNESP), and granted by Sao Paulo Research Foundation (FAPESP), process no. 2021/11159-7 and 2022/11307-9; by National Council of Scientific Research PIBIC, process 3961 (UNESP) and Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES).

**Keywords:** biomechanical response | dental trauma | finite element analysis | mouthguard | reinforcement mesh

### ABSTRACT

**Background/Aim:** This study evaluated the dentoalveolar responses of central incisors to anterior maxillary trauma in vitro and in silico using mouthguards (MGs) reinforced with polyamide mesh at three distinct positions.

**Material and Methods:** Forty 4-mm thick MGs were categorized based on mesh location: Group MG1 + 3 (reinforcement 1 mm from the vestibular limit), Group MG2 + 2 (2 mm), Group MG3 + 1 (3 mm), and a control group without reinforcement. A 3D-printed skull model (Spin Red Resin, Quanton 3D) simulated the dentoalveolar complex, with Resilab Clear resin (Wilcos) for teeth and addition-cured silicone for the periodontal ligament. This setup was connected to a custom impact device to ensure forces remained within the materials' elastic limits. Microstrains were measured using four strain gauges placed on the vestibular surfaces of the central incisors and the alveolar process of the maxilla. The impact was applied at  $E_p = 0.5496$  J, parallel to the ground, using a 35-mm diameter steel sphere. For the in silico test, the setup was modeled in CAD software (Rhinoceros 7.0) and analyzed in CAE software (Ansys 2021 R1) through explicit dynamic simulation. All materials were assumed homogeneous, isotropic and linearly elastic. A 1 m/s impact was simulated using a  $7.8 \text{ g/cm}^3$  steel sphere. Physical contact conditions were defined as frictional and glued, with tetrahedral mesh elements applied after a 10% convergence test to ensure accuracy.

**Results:** The maximum principal strains and stresses in teeth and maxilla were presented through colorimetric graphs. Statistical analysis (Shapiro–Wilk, Kruskal–Wallis, and Dunn's tests, 5% significance) revealed significant differences for the non-reinforced group ( $p = 6.8 \times 10^{-5}$ ) but none between impact zones ( $p = 0.879$ ), confirming uniform stress distribution.

**Conclusions:** Reinforcement systems significantly improved impact absorption in oral tissues, enhancing protection. However, the reinforcement location did not significantly affect absorption. Finite element analysis validated the in vitro results supporting both theoretical and practical models for further study and future improvements.

Alexandre Luiz Souto Borges and Tarcisio Jose de Arruda Paes Junior should be considered joint senior authors.

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2025 The Author(s). *Dental Traumatology* published by John Wiley & Sons Ltd.

*Dental Traumatology*, 2025; 0:1–14  
<https://doi.org/10.1111/edt.13060>

1 of 14

Figura 30 – Trabalho aprovado no 9º Meeting ABOD 2025 “Associação Brasileira de Odontologia Digital”: Cicatrização tecidual peri-implantar orientada por coroas provisórias imediatas – fluxo de trabalho chairside



**Assunto: ACEITE do resumo submetido à GALERIA DIGITAL PRÊMIO 9º MEETING – ABOD 2025**

**Resumo:** Cicatrização tecidual peri-implantar orientada por coroas provisórias imediatas – fluxo de trabalho chairside

Prezado Dr. Guilherme da Rocha Scalzer Lopes,

Agradecemos imensamente pelo envio do seu resumo, contribuindo com a sua participação na **GALERIA DIGITAL PRÊMIO 9º MEETING – ABOD 2025**. Será uma honra contar com sua presença em nosso evento, dividindo com a nossa classe todo seu conhecimento e experiência para a valorização da Odontologia Digital.

Temos a satisfação de informar que seu resumo foi **ACEITO** pela Comissão Avaliadora, estando de acordo com os critérios fundamentais estabelecidos no edital da Galeria Digital.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 31 – Trabalho premiado em 2º lugar, Galeria Digital, 9º Meeting ABOD 2025 “Associação Brasileira de Odontologia Digital”: Cicatrização tecidual peri-implantar orientada por coroas provisórias imediatas – fluxo de trabalho chairside



**Assunto: Parabéns! Seu resumo foi selecionado entre os finalistas da Galeria Digital 2025 – 9º Meeting ABOD**

**Resumo:** Cicatrização tecidual peri-implantar orientada por coroas provisórias imediatas – fluxo de trabalho chairside

Prezado Dr. Guilherme da Rocha Scalzer Lopes,

É com imensa alegria que comunicamos que seu trabalho submetido à Galeria Digital – Prêmio 9º Meeting ABOD 2025 foi um dos três **mais votados** na somatória final das votações.

Seu resumo se destacou entre os demais pela qualidade, inovação e relevância clínica, garantindo assim um espaço de destaque em nossa programação científica. Com isso, temos a honra de convidá-lo palestrante do evento, tendo a oportunidade de apresentar este trabalho ao vivo para o auditório mais interessado sobre odontologia digital da América Latina.

Em caso positivo, segue data da sua apresentação, escolhida randomicamente:

 **Data da sua palestra: 31/05/2025, sábado, das 18h30 às 19h00.**

Fonte: Elaborada pelo autor.

## Figura 32 – Resumo e Painel de trabalho no European Association for Osseointegration (EAO)

EAO2025: 504

### RELIABILITY OF CAD/CAM ABUTMENTS SUPPORTED BY ADDITIVELY MANUFACTURED DENTAL IMPLANTS

Guilherme Lopes<sup>1</sup>, Nathalia Ramos<sup>1</sup>, Larissa Alves<sup>2</sup>, Ernesto Benalcázar-Jalkh<sup>2</sup>, Estevam Bonfante<sup>2</sup>, Marco Bottino<sup>1</sup>

<sup>1</sup>São Paulo State University (UNESP), Department of Dental Materials and Prosthodontics, São José Dos Campos, Brazil, <sup>2</sup>University of São Paulo, Department of Prosthodontics and Periodontology, Bauru, Brazil

#### Conflict of interest

Do you have a conflict of interest to declare?: No

#### General data

Preferred Presentation type: Oral Communication

Topic: Clinical innovations

Keywords: Dental implants, Implant survival, Implant surface

#### Title

Title:

RELIABILITY OF CAD/CAM ABUTMENTS SUPPORTED BY ADDITIVELY MANUFACTURED DENTAL IMPLANTS

#### Abstract text

**Objective:** This study aimed to evaluate the fatigue behavior and reliability of two types of CAD/CAM abutments used for single implant-supported reconstructions.

**Materials & Methods:** Additively manufactured implants with an internal conical connection (4 x 10 mm; Plenum, Jundiá, SP, Brazil) were used. Half of the implants received Ti-base abutments while the other half received proprietary Plenum abutments (both Ø 4.5 x 1 mm). Zirconia crowns were milled and cemented onto the abutments. Representative specimens were characterized using EDX, XRD, and SEM. Eighteen specimens per group were subjected to step-stress accelerated life testing (15 Hz) through 30 degrees off-axis load application using three loading profiles: mild, moderate, and aggressive until failure or suspension. Failure load and number of cycles were used to calculate use-level probability curves, fatigue beta values, and reliability for 100,000-cycle missions at 50 and 100 N followed by failure-mode analysis.

**Results:** Characterization results confirmed the alloy was composed of titanium, aluminum, vanadium, without  $\beta$  phase. SEM images show a rough but uniform surface. In fatigue testing,  $\beta$  values ( $>1$ ) suggested failures due to fatigue damage accumulation. Considering the  $\beta$  lower bounds ( $<1$ ), two-parameter Weibull analysis was conducted (95% CI) revealing no significant differences regarding modulus between groups. However, Ti-base abutments presented higher characteristic strength (140.2 N [134.9-145.7]) compared to Plenum abutments (99.2 N [93.4-105.2]). For missions at 50 N both groups presented high reliability ( $\geq 99\%$ ). At 100 N, reliability for Plenum abutments decreased significantly (25%), while the Ti-base group remained above 99%. Failure-mode evaluation revealed that Ti-base specimens failed either at the abutment or abutment-screw, whereas all failures in the Plenum group involved the abutment-screw assembly.

**Conclusion:** Ti-base presented higher characteristic strength and reliability than Plenum abutments. Both abutments on 3D-printed implants presented high reliability for physiologic masticatory forces in the anterior region.

# P504

CLINICAL INNOVATIONS

## Reliability of CAD/CAM Abutment Supported by Additively Manufactured Dental Implant

Guilherme Lopes


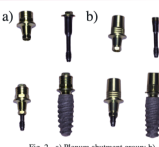
EAO 2025

MONACO CONGRESS 2025


#### BACKGROUND AND AIM

This study aimed to evaluate the fatigue behavior and reliability of two types of CAD/CAM abutments used for single implant-supported reconstructions.

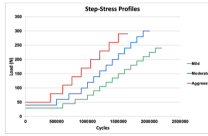
#### METHODS AND MATERIALS

Half of the implants received Ti-base abutments while the other half received proprietary Plenum abutments (both Ø 4.5 x 1 mm). Zirconia crowns were milled and cemented onto the abutments.

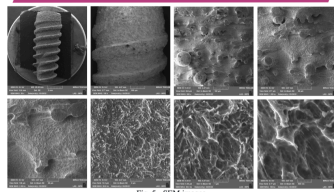


Representative specimens were characterized using EDX, XRD, and SEM.



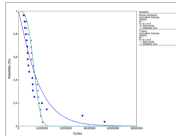
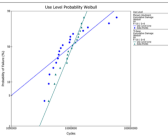
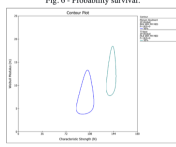
Eighteen specimens per group were subjected to step-stress accelerated life testing (15 Hz) through 30 degrees off-axis load application using three loading profiles: mild, moderate, and aggressive until failure.

#### RESULTS



Characterization results confirmed the alloy was composed of titanium, aluminum, vanadium, without  $\beta$  phase. SEM images show a rough but uniform surface.

Considering the  $\beta$  lower bounds ( $<1$ ), two-parameter Weibull analysis was conducted (95% CI) revealing no significant differences regarding modulus between groups. However, Ti-base abutments presented higher characteristic strength (140.2 N [134.9-145.7]) compared to Plenum abutments (99.2 N [93.4-105.2]).

For missions at 50 N both groups presented high reliability ( $\geq 99\%$ ). At 100 N, reliability for Plenum abutments decreased significantly (25%), while the Ti-base group remained above 99%. Failure-mode evaluation revealed that Ti-base specimens failed either at the abutment or abutment-screw, whereas all failures in the Plenum group involved the abutment-screw assembly.

#### CONCLUSION

Ti-base presented higher characteristic strength and reliability than Plenum abutments. Both abutments on 3D-printed implants presented high reliability for physiologic masticatory forces in the anterior region.

#### REFERENCES

Hsu T, Jhong Y, Tsai M. Effect of Gradient Energy Density on the Microstructure and Mechanical Properties of Ti6Al4V Fabricated by Selective Electron Beam Additive Manufacturing. *Materials (Basel)*. 2020 Mar 26;13(7):1509. doi: 10.3390/ma13071509. PMID: 32224847; PMCID: PMC7177714.  
 Kul E, Korkmaz H. Effect of different designs of abutment and implant on stress distribution in 2 implants and peripheral bone: A finite element analysis study. *J Prosthodont*. 2021;30(2):207-214. doi: 10.1039/c1jm10001a.  
 Bergamo ET, Campos TMR, Lopes ACC, Cardoso KR, Gouveia MVR, de Araújo-Júnior ENS, Witek L, Girombellin PC, Coelho PG, Benalcázar Jalkh EB, Zahedi A, de Carvalho LF, Bonfante EA. Hydrothermal aging affects the three-dimensional fit and fatigue lifetime of zirconia abutments. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021 Dec;124:104832. doi: 10.1016/j.jmbm.2021.104832. Epub 2021 Sep 8. PMID: 34556801.

Fonte: Elaborada pelo autor.