



**Avaliação do comportamento biomecânico de uma reabilitação All-on-Four  
de maxila atrófica utilizando implantes trans-sinusais: Análise de elementos  
finitos**

CURITIBA  
2024

Felipe Carvalho de Macêdo

Avaliação do comportamento biomecânico de uma reabilitação All-on-four de maxila atrófica utilizando implantes trans-sinusais: Análise de elementos finitos

Tese apresentada a Faculdade ILAPEO como parte dos requisitos para obtenção de título de Doutor em Odontologia com área de concentração em Implantodontia.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Eduardo Klüppel  
Co-orientador: Prof. Dr. Erton Massamitsu Miyasawa

CURITIBA  
2024

Felipe Carvalho de Macêdo

Avaliação do comportamento biomecânico de uma reabilitação All-on-four de maxila atrófica utilizando implantes trans-sinusais: Análise de elementos finitos

Presidente da Banca Orientador: Prof. Dr. Leandro Eduardo Klüppel

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Valdir Gouveia Garcia  
Prof. Dr. Rubens Moreno de Freitas  
Prof. Dr. Davani Latarullo Costa  
Prof. Dra. Mariana Schaffer Brackmann

Aprovada em: 18-02-2024

## **Dedicatória**

Dedico esse trabalho especialmente a minha família.

Aos meus filhos Luís Felipe Carvalho e Lis Carvalho por me motivar a buscar evoluir.

A minha amada esposa Luana Carvalho por todo amor e companheirismo durante essa jornada

Aos meus pais, Almir (in memorian) e Célia, por todo amor, educação, incentivo e por tornar tudo isso possível. Amo vocês!

Aos meus amados irmãos, Almir Filho (in memorian) e Arthur Carvalho. Obrigado por todo companheirismo e apoio.

Aos meus padrinhos, Acácio Campos e Lúcia Campos, por todo apoio e incentivo.

Aos meus primos/irmãos por sempre estarem presentes em todos os momentos da minha vida.

Aos meus queridos sogros, Ivson Cardoso e Maria Luiza Cardoso pelos conselhos e por me mostrarem a odontologia com outros olhos.

## **Agradecimentos**

Primeiramente, agradeço a Deus por esta comigo em todos os momentos.

Ao professor Dr. Leandro Eduardo Klüppel pela orientação, disponibilidade e ensinamentos durante toda essa jornada.

Aos professor Dr. Luiz Eduardo Marques Padovan e Dr. Erton Massamitsu Miyasawa pela coorientação, incentivo e dedicação no desenvolvimento.

Ao engenheiro Rafael Sallati pelo desempenho e competência no desenvolvimento do trabalho

Aos professores da faculdade ILAPEO pelo incentivo ao estudo e a pesquisa.

A todos os funcionários da faculdade ILAPEO por exercer suas funções com competência e pelo acolhimento de todos os dias.

Ao amigo e socio Dr. André Gondim pelo incentivo, apoio e ensinamentos

Aos professores Dr. Gustavo Seabra e Dr Euler Dantas.

Aos colegas de turma, pelo companheirismo na clínica e amizade durante todo o curso.

A todos que fizeram parte desta minha etapa profissional e pessoal.

## Sumário

1. Artigo científico 1.....	7
2. Artigo científico 2.....	21

## 1. Artigo científico 1

Artigo de acordo com as normas da Faculdade ILAPEO, para futura publicação no periódico  
**JOIS – Journal of OroFacial Innovation and Science**

# **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE UMA REABILITAÇÃO ALL-ON-FOUR DE MAXILA ATRÓFICA UTILIZANDO IMPLANTES TRANS-SINUSAIS: ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS**

**Felipe Carvalho de Macêdo<sup>1</sup>**  
**Erton Massamitsu Miyasawa<sup>2</sup>**  
**Luis Eduardo Marques Padovan<sup>2</sup>**  
**Leandro Eduardo Klüppel<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Aluno do Programa de Doutorado em Implantodontia da Faculdade ILAPEO

<sup>2</sup> Professor do Programa de Pós-graduação da Faculdade ILAPEO

## **RESUMO**

A reabilitação de maxilas atróficas com a pneumatização extensa do seio maxilar é uma tarefa difícil para o implantodontista, pois pode exigir a combinação de técnicas de enxertia e posicionamento tridimensional satisfatório do implante para obtenção de estabilidade e previsibilidade do tratamento. Esta análise tridimensional de elementos finitos avaliou dois modelos de reabilitação de maxilas atróficas com quatro implantes (All-on-4). No primeiro modelo, os implantes distais foram posicionados totalmente intraósseo tangenciando a parede anterior da cavidade sinusal. Já no segundo modelo, os implantes distais foram instalados atravessando a cavidade sinusal (trans-sinusal) com a fixação apical do implante no rebordo piriforme do osso da parede lateral nasal. Foram utilizados dois implantes longos de 3.75 x 20mm e mini pilares de 30° e 2.5mm de transmucoso nos implantes distais e dois implantes de 3.75 x 10.0mm com mini pilares retos de 2.5mm de transmucoso na região anterior. Uma estrutura metálica foi colocada sobre os quatro pilares e uma força bilateral de 100 N foi aplicada sobre esta estrutura, representando a carga oclusal normal, totalizando 200 N. Os resultados obtidos através da análise de elementos finitos para ambas as técnicas apresentam comportamento mecânico similares. As duas técnicas demonstraram resultados satisfatórios e são opções para reabilitação de pacientes com próteses do tipo protocolo em maxilares totalmente edêntulos.

**Palavras-chave:** Análise de elementos finitos; Implantes longos; Maxila atrófica.

## **ABSTRACT**

The rehabilitation of atrophic maxillae with extensive pneumatization of the maxillary sinus is a task for the implantologist, as it may require a combination of grafting techniques and overwhelming three-dimensional positioning of the implant to achieve difficult stability and predictability of the treatment. This three-dimensional finite element analysis evaluated two models of rehabilitation of atrophic

maxillae with four implants (All-on-4). In the first model, the distal implants were positioned entirely intraosseously, tangential to the anterior wall of the sinus cavity. In the second model, the distal implants were installed crossing the sinus cavity (trans-sinus) with apical fixation of the implant in the piriform ridge of the bone of the lateral nasal wall. Two long implants of 3.75 x 20 mm and mini abutments of 30° and 2.5 mm of transmucosal were used in the distal implants and two implants of 3.75 x 10.0 mm with straight mini abutments of 2.5 mm of transmucosal in the anterior region. A metallic structure was placed on the four abutments and a bilateral force of 100 N was applied on this structure, representing a normal occlusal load, totaling 200 N. The results obtained through the analysis of finite elements for both techniques presented similar mechanical behavior. The two techniques presented revealing results and are options for rehabilitation of patients with protocol-type prostheses in totally edentulous jaws.

**Keywords:** Finite element analysis; Atrophic maxilla.

## INTRODUÇÃO

A reabilitação de maxilas edêntulas atróficas através da utilização de quatro implantes dentários e uma prótese em função imediata, tem sido abordada na literatura desde 2005 por Maló et al. <sup>1</sup>, após terem sido encorajados por relatos de sucesso em reabilitações realizadas na arcada edêntula inferior pela mesma técnica de tratamento <sup>2</sup>.

A limitação para a instalação de implantes na maxila normalmente ocorre devido a quantidade e/ou qualidade óssea inadequadas, em que a pneumatização fisiológica do seio maxilar e o aumento da cavidade nasal são os principais responsáveis por essa limitação. No entanto, a utilização de implantes inclinados e mais longos, permite alcançar pilares ósseos distantes da crista óssea, melhorando a estabilidade inicial do implante e possibilitando a execução da técnica de reabilitação em carga imediata, evitando muitas vezes a necessidade da utilização de procedimentos de reconstrução com enxertos <sup>3</sup>.

Em casos de pneumatização anterior do seio maxilar, o posicionamento totalmente intraósseo do implante fica prejudicado, sendo necessário a utilização de técnicas alternativas que posicionem o implante atravessando a cavidade sinusal (técnica trans-sinus)<sup>4-6</sup>. Essa modalidade de tratamento pode ser utilizada como uma alternativa a utilização de implantes zigomáticos, e requer pelo menos de 3 a 5 mm de crista óssea para estabilização inicial do implante na sua instalação. O implante trans-sinus é posicionado a partir da crista em direção mesial, atravessando o seio maxilar para ancorar sua porção apical no rebordo piriforme do



osso da parede lateral nasal. Uma janela lateral do seio maxilar é criada e a membrana Schneideriana é elevada na parte anterior do seio maxilar antes da criação da osteotomia, em preparação para a colocação do implante. A osteotomia atravessa o seio elevado, de modo que, ao inserir o implante, a porção apical esteja dentro do osso, assim como a porção crestal do implante. Material de enxerto ósseo é então colocado sobre o implante exposto dentro do seio antes do fechamento do local. Com essa abordagem, a distribuição ântero-posterior dos implantes é favorecida, diminuindo o cantiléver e complicações biomecânicas<sup>4</sup>.

O método de elementos finitos é uma técnica matemática que é utilizado para analisar e simular fenômenos físicos. Tem sido aplicado no desenvolvimento de produtos e reduz a necessidade da utilização de protótipos físicos, melhorando a eficiência e otimização da criação de novos produtos. No campo da Odontologia, a análise de elementos finitos é particularmente útil no estudo de sistemas complexos biomecânicos difíceis de reproduzir em estudos *in vitro* ou *in vivo*. Pode ser utilizado ainda, na previsão de respostas mecânicas dos tecidos biológicos sob diferentes condições de estímulo, e possíveis complicações e falhas de desenhos de novos produtos<sup>7,8</sup>.

O critério de falha de von Mises é amplamente utilizado em análises de elementos finitos para avaliar a falha de materiais dúcteis. Esse critério é especialmente adequado para materiais que apresentam um escoamento bem definido antes de romperem. Em essência, o material deformará permanentemente antes de atingir o ponto de ruptura. O critério de von Mises considera a energia de distorção no material, que ocorre quando as tensões não são uniformes. Na maioria dos projetos de engenharia, o objetivo é evitar que a estrutura rompa ou colapse. Portanto, precisamos garantir que a estrutura não deforme plasticamente, comprometendo sua resistência e segurança. O critério de von Mises é uma ferramenta essencial para alcançar esse objetivo. Durante uma análise de elementos finitos, calculamos as tensões em cada elemento da estrutura. A tensão equivalente de von Mises é então comparada ao limite de escoamento do

material, e se a tensão equivalente exceder o limite de escoamento, o material começará a escoar.

O propósito desta pesquisa é avaliar através de uma análise tridimensional de elementos finitos o comportamento biomecânico dos elementos de uma reabilitação all-on-4 para maxila completamente edêntula utilizando ou não implantes trans-sinusais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta análise de elementos finitos, um modelo tridimensional foi discretizado em pequenos elementos na dimensão espacial de modo que o software pode construir uma malha dos objetos. Foi utilizado o programa SOLIDWORKS (Dassault Systèmes, Vélizy-Villacoublay, França) para modelar dois modelos, com e sem pneumatização severa do seio maxilar, para depois realizar a análise de elementos finitos através de outro programa denominado ANSYS, Inc. (Pensilvânia, EUA) (Figura 1).

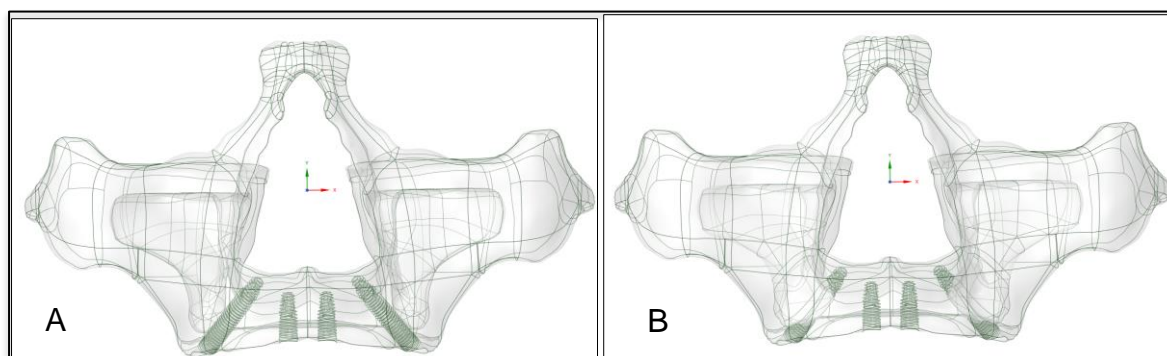


Figura 1 – Modelos tridimensionais de maxila atrófica. Posicionamento dos implantes para reabilitação all-on-4: A- Convencional; B- Implantes posteriores trans-sinusais devido projeção anterior do seio maxilar

Para simular a ação mastigatória, foi aplicada uma força axial de 100N na região do cantiléver da estrutura metálica bilateralmente (Figura 2).

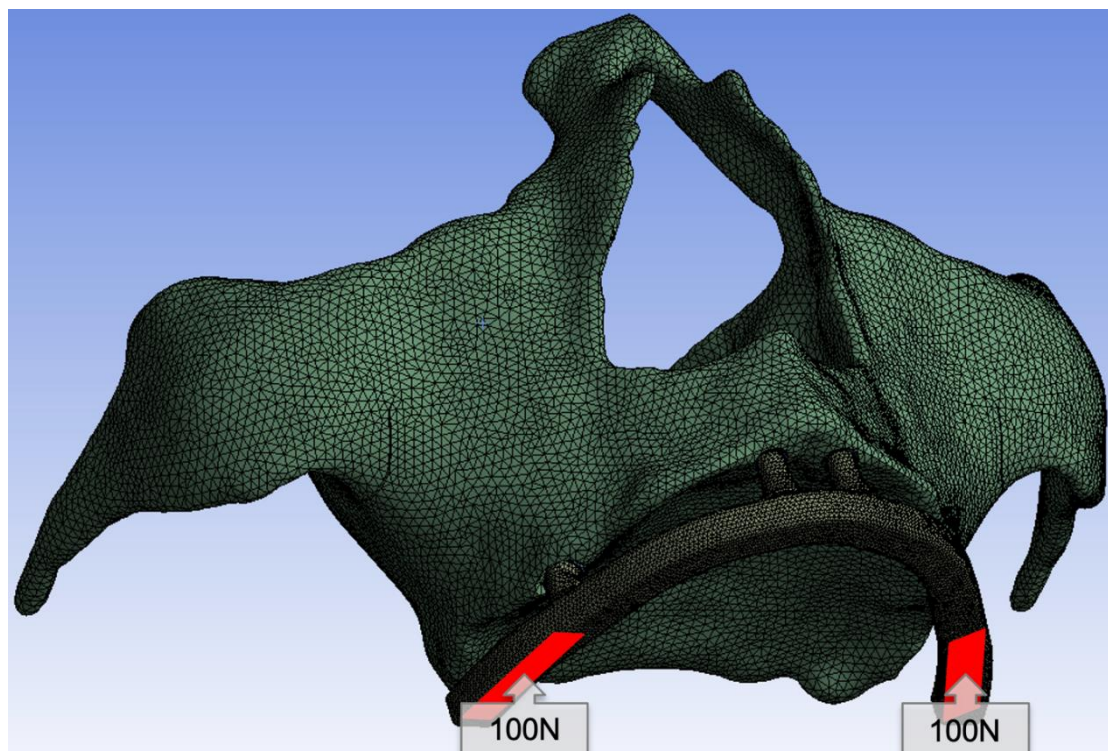


Figura 2- Modelo tridimensional de maxila atrófica discretizada em pequenos elementos (tetrahedros). Aplicação bilateral de força axial de 100N

As características dos componentes dessa análise de elementos finitos foram atribuídas segundo a Tabela 1, em que os implantes dentários utilizados (Helix LONG, Grand Morse, Neodent, Brasil) de 3,75 x 20,0mm e 3,75 x 10,0mm (Helix GM, Neodent, Brasil) são compostos de liga de titânio grau IV, e os componentes (mini pilares e parafusos) e a barra metálica são compostos de liga de titânio grau V. O tecido ósseo foi considerado como um material isotrópico, linearmente elástico e homogêneo, cujo módulo de elasticidade foi padronizado como equivalente a um osso do tipo II<sup>9</sup>.

Todos os contatos entre osso e implante foram considerados como áreas de osseointegração e 100% aderidas. No entanto, as áreas de contato entre implante e componentes respeitaram um coeficiente de atrito.

Foram incorporados à análise tanto o módulo de elasticidade, que denota a rigidez do material em resposta à carga aplicada, quanto o coeficiente de Poisson, que descreve a relação entre a deformação transversal e longitudinal durante a tração axial. Esses parâmetros foram

cuidadosamente considerados, levando em conta o efeito absoluto das cargas exercidas sobre o material em questão (Tabela 1).

Tabela 1- Propriedades dos componentes da reabilitação

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS				
Material	Módulo de elasticidade (MPa)- Rigidez	Tensão de escoamento (MPa)	Coefficiente de Poisson	Referência
Osso tipo II	5500	170 (Compressão)	0,3	Tada et al.(2003) <sup>10</sup> , Almeida et al. (2010) <sup>9</sup> , Bozkaya et al. (2004) <sup>11</sup>
Titânio grau IV	103000	703	0,361	Conforme “ASTM F 67”
TI6AL4V-ELI (Liga Titânio)	105000	881	0,361	Conforme “ASTM F 136”
PROPRIEDADES DOS CONTATOS ENTRE OS MATERIAIS				
Materiais	Tipo de contato	Coefficiente de atrito	Referência	
Osso x implante	Colado (100% osseointegrado)	-	Eskitascioglu et al. (2004) <sup>12</sup>	
Implante x componente x parafuso x barra	Atrito	0,2	Haack et al. (1995) <sup>13</sup> Lang et al. (2003) <sup>14</sup>	

(Fonte: Miyasawa et al. 2022)<sup>10</sup>

Os dois modelos 3D comparados se diferem apenas pela simulação da pneumatização do seio maxilar, mantendo a posição dos implantes da reabilitação all-on-four, composta por dois implantes longos e inclinados posteriores (3,75 x 20,0mm - Helix LONG GM, Neodent, Brasil) e dois implantes posicionados axialmente na região anterior (3,75 x 10mm – Helix GM, Neodent, Brasil). Foram utilizados mini pilares angulados de 30° com transmucoso de 2,5mm nos implantes distais e mini pilares retos de 2,5mm nos implantes anteriores.

As regiões designadas como áreas de fixação no modelo são aquelas onde são impostas as condições de contorno, com o intuito de representar as conexões fixas ou restritas presentes no sistema em estudo. Essas áreas podem ser identificadas como nós específicos ou faces de elementos nos quais a mobilidade é restringida, simulando, por exemplo, pontos de apoio ou fixação estrutural. A aplicação das condições de contorno nessas áreas de fixação restringe o

modelo, proporcionando uma representação mais precisa das condições reais de suporte e restrição encontradas na aplicação prática do sistema. Essa abordagem permite uma análise mais acurada do comportamento estrutural sob as condições de carga especificadas (Figura 3).

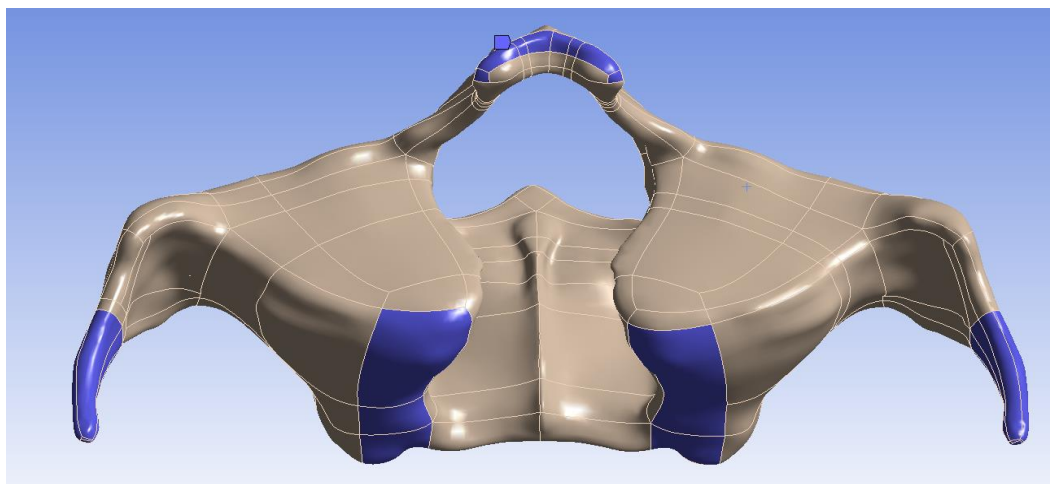


Figura 3- Áreas de fixação demarcadas em azul, representando áreas onde a mobilidade é restrita

## RESULTADOS

Através desta análise de elementos finitos, foi possível investigar o comportamento do tecido ósseo e dos componentes de reabilitação após a aplicação de uma carga axial bilateral de 100N na infraestrutura metálica.

Os componentes da reabilitação all-on-4 avaliados nesta análise de elementos finitos foram o tecido ósseo, os implantes Helix GM LONG (Neodent, Brasil) de 3,75 x 20,0mm, implantes Helix GM (Neodent, Brasil) 3,75 x 10mm, mini pilares GM (Neodent, Brasil) angulados de 30° e altura de transmucoso de 2,5mm e mini pilares retos GM (Neodent, Brasil) com altura de 2,5 mm de transmucoso.

A distribuição das tensões no tecido ósseo está representada na Figura 4, e foi possível observar que, no modelo tridimensional de tratamento all-on-4 tradicional, a tensão distribuída

no tecido ósseo alcançou pico de 10,32 MPa, concentrando-se na área cervical e distal dos implantes distais. E no modelo tridimensional com o seio maxilar pneumatizado para a região anterior, as tensões ao redor dos implantes atingiram valores mais altos e alcançando um pico de 14,01 MPa. Esses valores não ultrapassaram os limites de resistência do osso, que é de aproximadamente 170 MPa para o tipo ósseo estudado <sup>11</sup>.

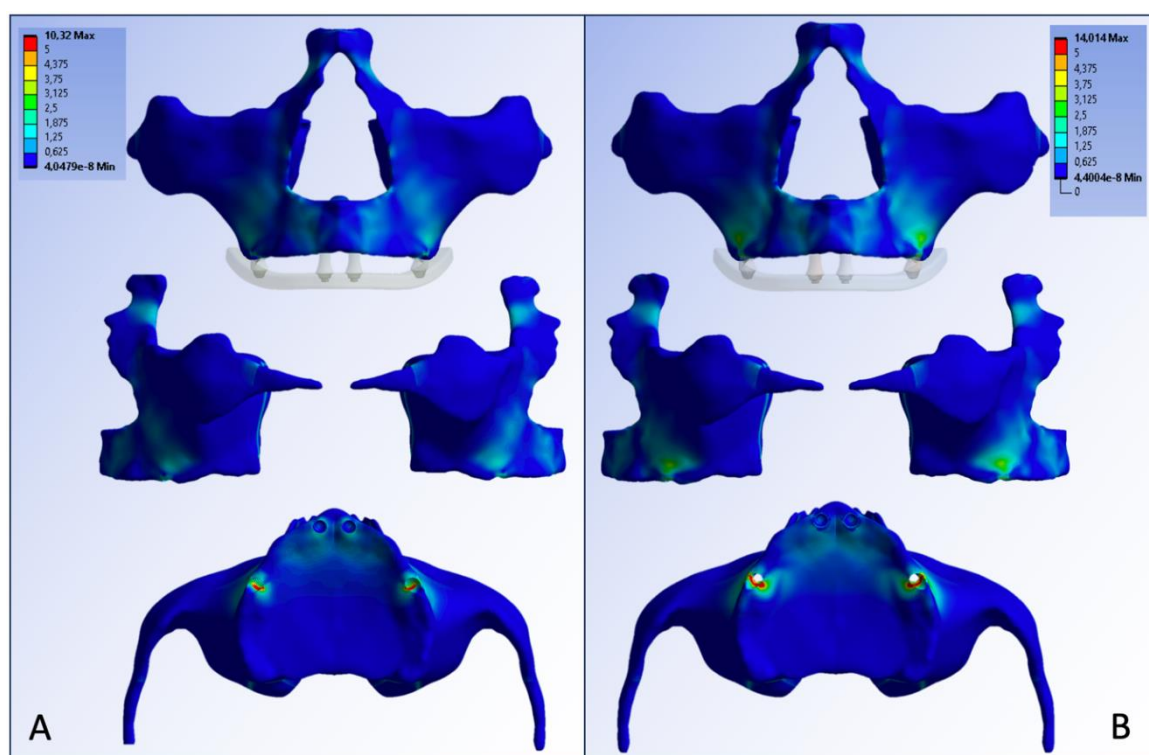


Figura 4 – Representação da distribuição das tensões de von Mises (MPa) no tecido ósseo: A- Modelo all-on-4 tradicional.; B- Modelo all-on-4 com implantes trans-sinusais devido pneumatização anterior do seio maxilar.

Os implantes anteriores tiveram performance semelhante nos dois modelos estudados concentrando as principais tensões na região cervical. As tensões observadas nos implantes distais foram predominantemente localizadas na região disto-palatina. Elas atingiram valores máximos de até 55,179 MPa no grupo que utilizou os implantes trans-sinusais, e pico de tensão 42,158 MPa no grupo que utilizou a técnica tradicional all-on-4. Ambos os grupos obtiveram valores significativamente inferiores ao limite de escoamento do titânio grau IV, estabelecido em 703 MPa (Figura 5).

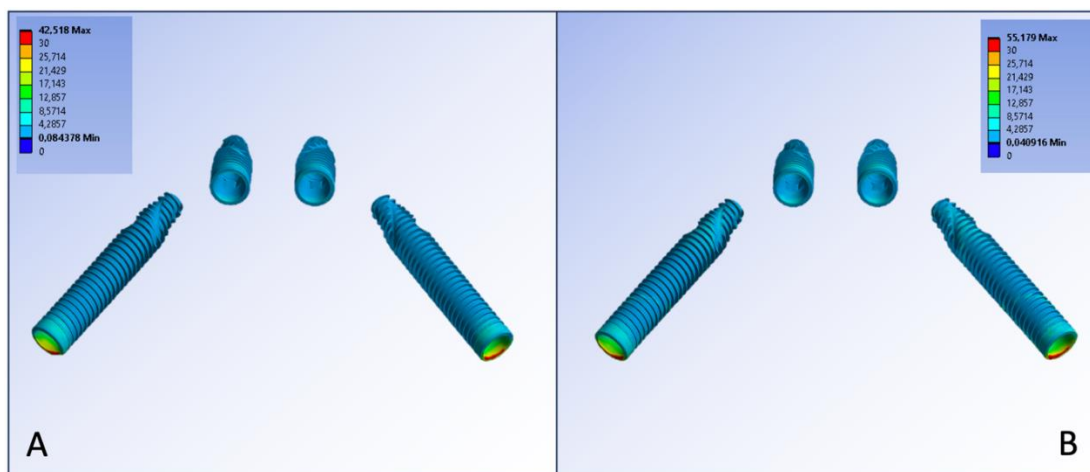


Figura 5- Distribuição das tensões de von Mises nos implantes: A- Modelo all-on-4 tradicional.; B- Modelo all-on-4 com implantes trans-sinusais

As regiões anguladas dos mini pilares foram as áreas de maior concentração de tensões. As duas situações clínicas testadas apresentaram resultados semelhantes e verificou-se que os picos de tensão nos mini pilares alcançaram 78,325 MPa na técnica tradicional all-on-4 e 78,009 MPa na técnica utilizando os implantes trans-sinusais, valores consideravelmente abaixo do limite de escoamento do titânio grau V, que é de 881 MPa (Figura 6).

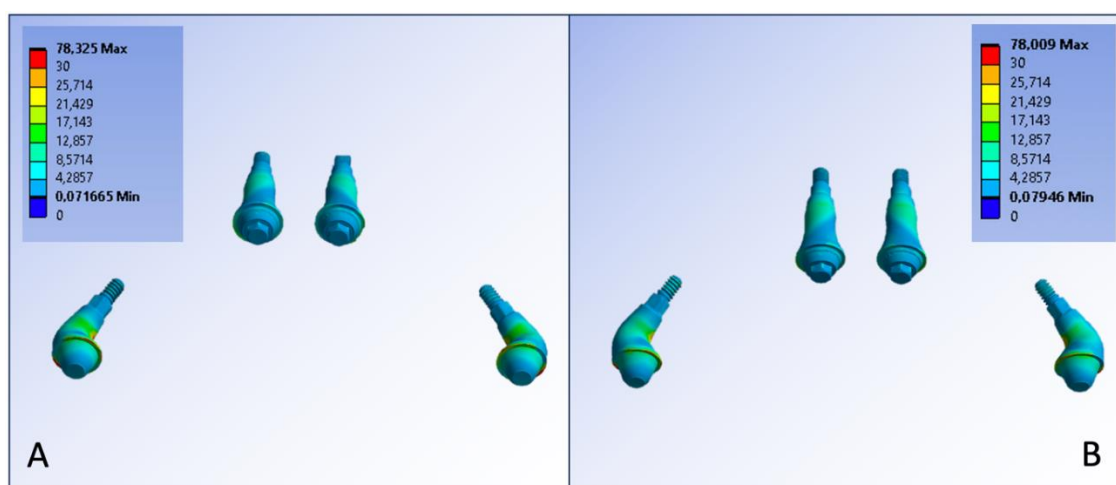


Figura 6- Distribuição das tensões de von Mises nos mini pilares: A- Modelo all-on-4 tradicional.; B- Modelo all-on-4 com implantes trans-sinusais

## DISCUSSÃO

A análise de elementos finitos é uma ferramenta matemática computacional que permite o entendimento de fenômenos biomecânicos de variadas situações clínicas, e tem sido utilizada desde a década de 1970 na odontologia<sup>12,13</sup>. Para este estudo de análise por elementos finitos (AEF), um modelo 3D de uma mandíbula edêntula atrofica foi criado utilizando o software Solidworks. O modelo não se baseou em dados de pacientes reais, sendo completamente desenvolvido por meio de recursos computacionais, dispensando a aprovação de um comitê de ética. Um engenheiro especializado em AEF elaborou o modelo 3D e conduziu a análise por elementos finitos. Embora o modelo 3D tenha sido projetado para representar um osso do tipo II em sua totalidade, é importante reconhecer que o osso maxilar apresenta diversas qualidades e não é homogêneo<sup>14</sup>. Uma limitação deste estudo é que, embora as análises por elementos finitos possam simular o comportamento biomecânico dos objetos de estudo, elas não conseguem avaliar a resposta biológica real dos tecidos ósseos sob carga, uma vez que, em nível celular, o osso responde com áreas contínuas de formação e reabsorção tecidual<sup>8</sup>.

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar, por meio do método de elementos finitos, uma situação de atrofia óssea associada a pneumatização dos seios maxilares. A justificativa deste estudo reside no fato de que esta situação, muitas vezes inibe a aplicação de carga imediata ou precoce pelo receio gerado pela falta de contato ósseo com o terço médio do implante.

Em relação à distribuição das tensões no tecido ósseo periimplantar, ficou claro que a diferença entre os dois modelos testados foi pequena e, ligeiramente superior para o grupo de implante transinusal. Extrapolando este achado para a clínica, entende-se que esta diferença estará presente apenas na fase inicial da reabilitação com carga imediata, podendo ser desconsiderada após a osseointegração dos implantes.



Jensen OT et al. 2012, realizou um estudo clínico, utilizando implantes dentários transinusais associados a proteína morfogênica óssea (BMP-2) com carga imediata, reabilitados pela técnica All-on-Four. Foram incluídos na pesquisa 10 pacientes com 19 implantes transinusais reabilitados de acordo com o conceito all-on-four com acompanhamento de 1 ano. Dos 19 implantes transinusais instalados, 18 permaneceram integrados, obtendo uma taxa de 94,8% de sucesso. O autor concluiu que os implantes transinusais são uma alternativa viável ao uso do implante zigomático em casos de atrofia maxilar severa.

Aalam AA, et al. 2023, realizou um estudo de uma serie de casos, utilizando implantes dentários transinusais como uma alternativa aos implantes zigomáticos. O autor assegura que os implantes transinusais é uma opção de tratamento que integra previsibilidade, menor morbidade e conforto pós-operatório.

Os achados de distribuição de tensão no tecido ósseo são importantes para compreender a importância de restringir as cargas funcionais excessivas (como na mastigação de alimentos duros e em hábitos parafuncionais), até que os implantes estejam osseointegrados.

No presente estudo a aplicação da carga foi feita sobre uma barra metálica que faz a ferulização (união) de todos os implantes envolvidos na reabilitação, evidenciando resultados positivos. Muitos profissionais tem utilizado reabilitações provisórias sem a barra metálica, e isto deve ser objeto de estudo futuro para certificação de que não haverá sobrecarga no tecido ósseo, implantes ou componentes protéticos.

Ainda, em relação à distribuição das cargas nos componentes protéticos não foi observada diferença para os dois grupos, atestando a uniformidade do sistema. A técnica também traz consigo algumas exigências na execução. O cirurgião necessita ter um manejo cirúrgico preciso, pois o procedimento depende de uma técnica apurada. Mínimas variações realizadas durante o trans operatório poderá trazer sequelas para o paciente e o insucesso da reabilitação.

## CONCLUSÃO

Através desta análise de elementos finitos podemos concluir que a utilização de implantes longos e inclinados apresenta comportamento mecânico similar quando comparamos a técnica transinusal com a técnica tradicional.

## REFERÊNCIAS

1. Maló P, Rangert B, Nobre M. All-on-4 immediate-function concept with Brånemark System implants for completely edentulous maxillae: a 1-year retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2005;7 Suppl 1:S88-94.
2. Maló P, Rangert B, Nobre M. "All-on-Four" immediate-function concept with Brånemark System implants for completely edentulous mandibles: a retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2003;5 Suppl 1:2-9.
3. Graves S, Mahler BA, Javid B, Armellini D, Jensen OT. Maxillary all-on-four therapy using angled implants: a 16-month clinical study of 1110 implants in 276 jaws. *Dent Clin North Am.* 2011 Oct;55(4):779-94.
4. Aalam AA, Krivitsky-Aalam A, Zelig D, Oh S, Holtzclaw D, Kurtzman GM. Trans-sinus dental implants, for immediate placement when insufficient alveolar height is present: an alternative to zygomatic implants - surgical case series. *Ann Med Surg (Lond).* 2023 Jan 23;85(1):51-56.
5. Jensen OT, Cottam J, Ringeman J, Adams M. Trans-sinus dental implants, bone morphogenetic protein 2, and immediate function for all-on-4 treatment of severe maxillary atrophy. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012 Jan;70(1):141-8.
6. Agliardi EL, Romeo D, Wenger A, Gastaldi G, Gherlone E. Immediate rehabilitation of the posterior maxilla with extensive sinus pneumatization with one axial and one trans-sinus tilted implant: a 3-year clinical report and a classification. *J Prosthet Dent.* 2015 Mar;113(3):163-8.
7. Hosseini-Faradonbeh SA, Katoozian HR. Biomechanical evaluations of the long-term stability of dental implant using finite element modeling method: a systematic review. *J Adv Prosthodont.* 2022 Jun;14(3):182-202.
8. Falcinelli C, Valente F, Vasta M, Traini T. Finite element analysis in implant dentistry: State of the art and future directions. *Dent Mater.* 2023 Jun;39(6):539-556.
9. de Almeida EO, Rocha EP, Freitas AC Jr, Freitas MM Jr. Finite element stress analysis of edentulous mandibles with different bone types supporting multiple-implant superstructures. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2010 Nov-Dec;25(6):1108-14.

10. Miyasawa EM, de Macêdo FC, Valenga Filho J, Trojan LC, Klüppel LE, Padovan LEM. Biomechanical comparison of four treatment models for the totally edentulous maxilla: a finite element analysis. *Res, Soc Dev.* 2022;11(10):e135111032509.
11. Morgan EF, Unnikrisnan GU, Hussein AI. Bone Mechanical Properties in Healthy and Diseased States. *Annu Rev Biomed Eng.* 2018 Jun 4;20:119-143.
12. Farah JW, Craig RG, Sikarskie DL. Photoelastic and Finite Element Stress Analysis of a Restored Axisymmetric First Molar. *J Biomech.* 1973;6(5):511–20.
13. Selna LG, Shillingburg HT, Kerr PA. Finite element analysis of dental structures — axisymmetric and plane stress idealizations. *J Biomed Mater Res.* 1975;9(2):237–52.
14. Chugh T, Jain AK, Jaiswal RK, Mehrotra P, Mehrotra R. Bone density and its importance in orthodontics. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2013;3(2):92-7.

## 2. Artigo científico 2

Artigo de acordo com as normas da Faculdade ILAPEO.

### **FLUXO DE TRABALHO DO SCANBODY REVERSO PARA CONFECÇÃO DA PRÓTESE HÍBRIDA IMPLANTOSSUPOORTADA: RELATO DE CASO CLÍNICO**

Felipe Carvalho de Macêdo<sup>1</sup>  
Mary Stella Kivel Dias Vitória<sup>2</sup>  
Jean Uhlendorf<sup>2</sup>  
Caio Cardozo<sup>2</sup>  
Erton Massamitsu Miyasawa<sup>3</sup>  
Luis Eduardo Marques Padovan<sup>3</sup>  
Geninho Thomé<sup>3</sup>  
Leandro Eduardo Klüppel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutorando do Programa de Pós Graduação da Faculdade Ilapeo

<sup>2</sup> Especialista e Mestre em Implantodontia Faculdade Ilapeo

<sup>3</sup> Professor Doutor do Programa de Pós Graduação da Faculdade Ilapeo

#### **RESUMO**

A tecnologia de digitalização intraoral tem transformado a odontologia restauradora ao substituir a moldagem tradicional por uma alternativa precisa e confiável. Scanners intraorais capturam a estrutura oral dos pacientes em imagens tridimensionais, enquanto os *scan bodies* registram a posição dos implantes. As informações digitais são processadas em softwares CAD/CAM para criar próteses, otimizando o tempo clínico e aumentando a previsibilidade dos resultados. Apesar dos desafios na digitalização de arcos edêntulos, técnicas como o *scan body* reverso melhoram a precisão e o conforto do paciente. Neste caso clínico de uma paciente de 63 anos mostrou que, através da técnica de escaneamento reverso, foi possível substituir uma prótese temporária por uma definitiva, transferindo o posicionamento dos mini pilares para um modelo digital. A adaptação da prótese provisória permitiu a fresagem da infraestrutura em titânio e a confecção da prótese final. Estudos indicam que esse método oferece precisão e conforto superiores aos métodos tradicionais, além de reduzir consultas e eliminar moldagens convencionais. O protocolo de escaneamento reverso mostrou ser eficaz na confecção de próteses fixas implantossuportadas, resultando em próteses definitivas com alta precisão e estabilidade, otimizando o fluxo de trabalho digital e aumentando a previsibilidade dos resultados.

**Palavras-chave:** Implantes dentários; Arcada edêntula; CAD-CAM.

## ABSTRACT

Intraoral scanning technology has transformed restorative dentistry by replacing traditional molding with a precise and reliable alternative. Intraoral scanners capture the oral structure of patients in three-dimensional images, while scan bodies record the position of implants. Digital information is processed in CAD/CAM software to create prostheses, optimizing clinical time and increasing the predictability of results. Despite challenges in scanning edentulous arches, techniques such as the reverse scan body improve accuracy and patient comfort. In this clinical case of a 63-year-old patient, the reverse scanning technique allowed for the replacement of a temporary prosthesis with a definitive one, transferring the positioning of mini pillars to a digital model. The adaptation of the provisional prosthesis permitted the milling of the titanium infrastructure and the creation of the final prosthesis. Studies indicate that this method offers superior accuracy and comfort compared to traditional methods, as well as reducing appointments and eliminating conventional molding. The reverse scanning protocol has proven effective in the fabrication of implant-supported fixed prostheses, resulting in definitive prostheses with high precision and stability, optimizing the digital workflow and increasing the predictability of results.

**Keywords:** Dental Implants; Edentulous Arch; CAD-CAM.

## INTRODUÇÃO

A tecnologia de digitalização intraoral tem revolucionado a odontologia restauradora, oferecendo uma alternativa precisa e confiável ao processo tradicional de moldagem. Com o uso de *scanners* intraorais, é possível capturar de forma detalhada a estrutura oral do paciente, substituindo a moldagem física, que muitas vezes sofre distorções causadas por materiais e processos manuais. Esse método permite que o profissional obtenha uma imagem tridimensional direta da arcada do paciente, resultando em uma visualização imediata e ajustável da estrutura bucal, sem as variáveis externas presentes na moldagem convencional.<sup>1</sup> Neste contexto, os *scan bodies* desempenham uma função essencial. Esses componentes, fixados diretamente sobre o implante durante a digitalização, servem como um marcador de referência para o implante, registrando com precisão sua posição, inclinação e profundidade. Essa captura de dados tridimensionais é fundamental para garantir que a prótese final seja projetada e confeccionada com um ajuste preciso e personalizado.<sup>2</sup>

Após a captura digital, as informações são encaminhadas para softwares de CAD (Design Assistido por Computador) e CAM (Manufatura Assistida por Computador). A partir desses programas, a prótese pode ser desenhada em detalhes no CAD, considerando tanto a

estrutura e funcionalidade quanto a estética. Posteriormente, o software CAM realiza a fabricação da prótese por fresagem ou impressão 3D, com base nas especificações do projeto digital. Essa integração entre CAD e CAM não só otimiza o tempo do processo clínico como também aumenta a previsibilidade e a consistência dos resultados obtidos.<sup>3</sup>

A digitalização de arcos totalmente edêntulos reabilitados com implantes permanece um desafio técnico significativo, especialmente na ausência de estruturas anatômicas de referência, como dentes. Fatores como a presença de saliva e sangue, a mobilidade dos tecidos moles e a escassez de mucosa queratinizada podem comprometer a qualidade e precisão das imagens obtidas por meio da digitalização intraoral. Esses aspectos introduzem variáveis que dificultam a captura eficiente e precisa das estruturas, afetando potencialmente a fidelidade dos dados adquiridos durante o escaneamento intraoral.<sup>4,5</sup> Para solucionar esses desafios novas técnicas e componentes para escaneamento vêm sendo desenvolvidos.<sup>6</sup>

De uma forma tradicional, os *scan bodies* são posicionados diretamente sobre o implante; no entanto, o avanço da tecnologia permitiu o desenvolvimento de opções como o *scan body* reverso, que não apenas melhora a precisão da captura de dados em casos complexos, facilitando a digitalização em ângulos desfavoráveis, como também reduz o tempo clínico necessário para ajustes e aumenta o conforto do paciente ao minimizar a necessidade de provas múltiplas e escaneamento dos *scan bodies* intraorais.<sup>7-10</sup>

O objetivo deste relato de caso foi demonstrar que os *scan bodies* reversos, equivalentes digitais dos análogos de implantes ou pilares, permitem a digitalização precisa da prótese provisória, fornecendo informações sobre o arranjo dentário, a oclusão e a posição dos implantes. Esse processo simplifica o planejamento e a fabricação da prótese final sobre implantes, otimizando o fluxo de trabalho e aumentando a previsibilidade dos resultados.

## RELATO DE CASO

Paciente, sexo feminino, 63 anos, retornou ao serviço odontológico da clínica da Faculdade ILAPEO, depois de quatro meses de ser reabilitada com implantes e uma prótese total híbrida superior temporária, para continuar sua reabilitação e substituí-la por uma prótese final (Figura 1 a-b).



Figura 3- a- Fotografia inicial frontal extraoral com a prótese provisória instalada; b- Fotografia inicial intraoral

Ao exame clínico, constatou-se que a região do implante localizado na região do segundo pré-molar superior direito apresentava sintomatologia dolorosa, e após realizada uma avaliação radiográfica foi recomendado a sua explantação (Figura 2).



Figura 4- Radiografia Panorâmica Inicial

Para transferir o posicionamento dos mini pilares para um modelo tridimensional digital, e realizar a substituição da prótese provisória para a prótese final, utilizou-se o fluxo digital através da técnica de escaneamento reverso, que elimina a necessidade do escaneamento intra bucal dos *scan bodies* tradicionais sobre os implantes, sendo necessário realização de três escaneamentos: 1) Escaneamento intra oral da prótese provisória acomodada em boca; 2) escaneamento intra oral do rebordo remanescente com os mini pilares instalados para reprodução dos tecidos moles no qual será assentado a futura prótese total híbrida final; 3) Escaneamento extra oral dos *scan bodies* reversos adaptados na prótese provisória (Figuras 3 a-c).

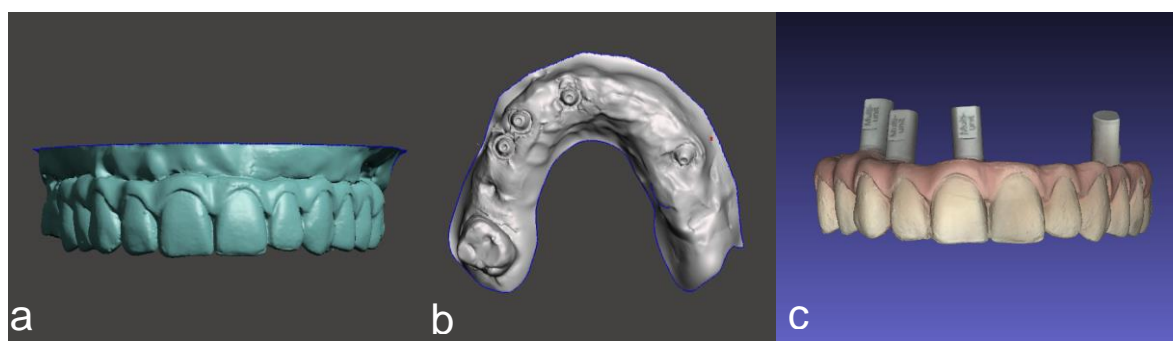


Figura 3 – a) Modelo tridimensional da prótese provisória instalada em boca; b) Modelo tridimensional do rebordo cicatrizado e posicionamento dos mini pilares; c) Modelo tridimensional dos *scan bodies* instalados na prótese provisória

Para reproduzir essa técnica, é essencial que a adaptação e a passividade da prótese provisória sobre os mini pilares estejam perfeitas, pois os *scan bodies* reversos irão replicar exatamente o posicionamento desses mini pilares sobre esta prótese. Foi utilizada uma biblioteca de implantes para os *scan bodies* reversos, permitindo que o software identificasse



os implantes utilizados e possibilitasse a conexão das próteses às respectivas bases de titânio. (Figura 4).



Figura 4- Fotografia dos *scan bodies* reversos instalados na prótese provisória

Após a importação dos escaneamentos para o software de CAD (desenho assistido por computador) (Exocad DentalCad, Exocad GmbH, Darmstadt, Alemanha), estes foram alinhados para possibilitar o planejamento e desenho da futura prótese definitiva. Com o objetivo de conferir a perfeita adaptação e reprodução do posicionamento dos mini pilares, uma prótese provisória impressa foi confeccionada e avaliada por um período de tempo de 15 dias pela paciente, para validar a estética, função e fonética. (Figura 5)



Figura 5 - Impressão de prótese provisória para testar estética, função e fonética

Na consulta seguinte, procedeu-se a confecção da infraestrutura em titânio fresada (Figura 6 a-b), para depois seguir com a confecção e instalação da prótese total híbrida final reproduzida através das características da prótese provisória. (Figuras 7 e 8)

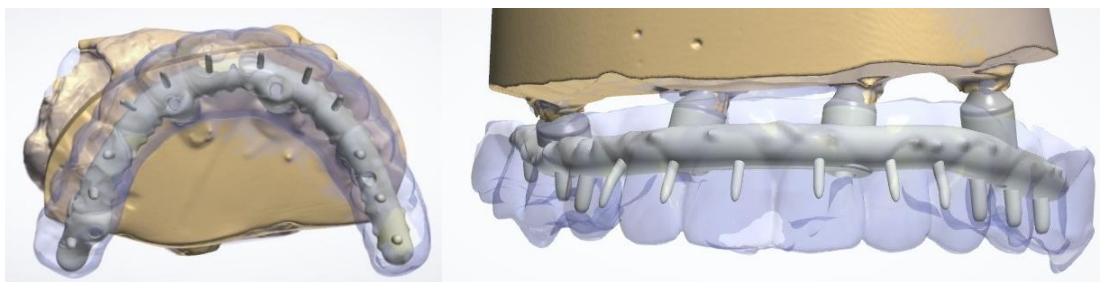


Figura 6- Radiografia panorâmica e periapicais com a prótese final instalada

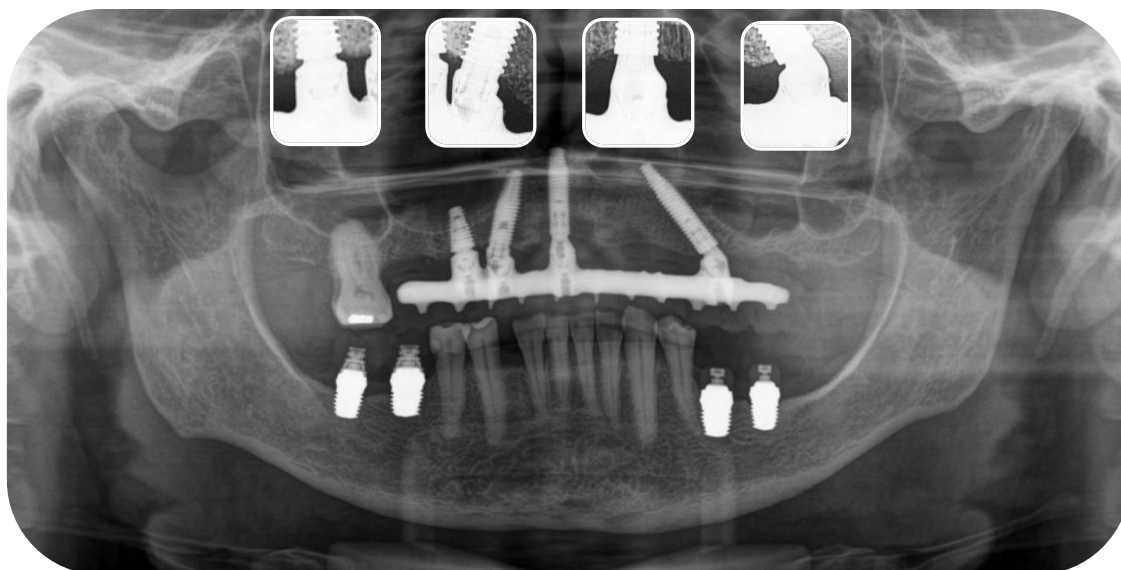


Figura 7- Radiografia panorâmica e periapicais com a prótese final instalada



Figura 8- Fotografias finais da instalação da prótese final

## DISCUSSÃO

Este relato de caso clínico descreve um protocolo otimizado e simplificado para a confecção e instalação de próteses fixas implantossuportadas, utilizando fresagem de infraestrutura metálica de titânio com passividade total, no qual é empregado o conceito de escaneamento reverso extraoral. A principal inovação deste método consiste na utilização de *scan bodies* reversos, que são conectados às próteses provisórias para realização do escaneamento extraoral com escâneres intraorais (IOS). Esse protocolo de *scan body* reverso foi aplicado tanto na produção de próteses prototípicas quanto nas próteses definitivas, com o propósito de simplificar e aumentar a eficiência do fluxo de trabalho digital completo para pacientes completamente edêntulos.

Estudos recentes indicam que esse método simplifica o processo de captura digital dos implantes, proporcionando um ajuste passivo e preciso na reabilitação sobre implantes (Papaspyridakos et al., 2023).<sup>4</sup> A utilização de *scan bodies* reversos conectados às próteses provisórias permite capturar a posição dos implantes fora da cavidade oral, minimizando distorções e erros frequentemente associados aos escaneamentos intraorais, conforme relatado por Mizumoto e Yilmaz (2018).<sup>2</sup>

Comparado aos métodos convencionais, o protocolo digital com *scan bodies* reversos reduz o número de consultas e elimina a necessidade de moldagens convencionais, resultando em maior conforto para o paciente e em economia de tempo clínico (Papaspriidakos et al., 2023, Chochlidakis et al., 2022).<sup>4,6</sup> A literatura atual reforça que o fluxo de trabalho digital completo, que integra a captura digital precisa dos implantes e a fresagem de infraestruturas metálicas, é vantajoso para pacientes edêntulos, proporcionando próteses de longa durabilidade e estabilidade (Papaspriidakos et al., 2019).<sup>3</sup> Esse fluxo digital também permite a produção de próteses prototípicas e definitivas com alta precisão, contribuindo para um resultado reabilitador previsível e eficiente (Nuytens et al., 2023).<sup>7</sup>

Outro ponto relevante é a precisão dos scanners intraorais no registro da posição dos implantes. A revisão de Gehrke et al. (2024)<sup>5</sup> aponta que a precisão dos scanners é um fator crítico no sucesso das reabilitações sobre implantes e que o uso de *scan bodies* reversos pode melhorar ainda mais esse processo, assegurando uma adaptação precisa da prótese final. Além disso, estudos comparativos mostram que o método de escaneamento reverso oferece uma precisão comparável ou superior às moldagens convencionais, reforçando sua aplicabilidade clínica (Hyspler et al., 2023)<sup>8</sup>.

Por fim, os resultados deste relato corroboram as evidências de que o protocolo de escaneamento reverso é uma ferramenta eficaz para reabilitações complexas. No entanto, recomenda-se a realização de estudos com amostragens maiores para validar sua eficácia em diferentes contextos clínicos e populações de pacientes (Papaspriidakos et al., 2024).<sup>10</sup>

## CONCLUSÃO

Através deste relato de caso clínico verificou-se a eficácia do protocolo de escaneamento reverso extraoral na confecção de próteses fixas implantossuportadas totalmente passivas, utilizando infraestrutura de titânio fresado. O uso de *scan bodies* reversos conectados às

próteses provisórias permitiu um processo de escaneamento preciso e simplificado, que demonstrou ser uma alternativa viável para a obtenção de próteses definitivas com alta precisão de adaptação e estabilidade. Esse protocolo simplificado contribui para a otimização do fluxo de trabalho digital em pacientes completamente edêntulos, reduzindo o tempo clínico e potencializando a previsibilidade dos resultados reabilitadores.

## REFERÊNCIAS

1. Chochlidakis KM, Papaspyridakos P, Geminiani A, Chen CJ, Feng IJ, Ercoli C. Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*. 2016;116:184–92.
2. Mizumoto RM, Yilmaz B. Intraoral scan bodies in implant dentistry: A systematic review. *J Prosthet Dentist*. 2018;120(3):343–52.
3. Papaspyridakos P, Chen Y wei, Gonzalez-Gusmao I, Att W. Complete digital workflow in prosthesis prototype fabrication for complete-arch implant rehabilitation: A technique. *J Prosthet Dentist*. 2019;122(3):189–92.
4. Papaspyridakos P, Bedrossian A, Kudara Y, Ntovas P, Bokhary A, Chochlidakis K. Reverse scan body: A complete digital workflow for prosthesis prototype fabrication. *J Prosthodont*. 2023;32(5):452–7.
5. Gehrke P, Rashidpour M, Sader R, Weigl P. A systematic review of factors impacting intraoral scanning accuracy in implant dentistry with emphasis on scan bodies. *Int J Implant Dent*. 2024;10(1):20.
6. Chochlidakis K, Romeo D, Ercoli C, Papaspyridakos P. Complete Digital Workflow for Prosthesis Prototype Fabrication with the Double Digital Scanning (DDS) Technique: A Prospective Study on 16 Edentulous Maxillae. *J Prosthodont*. 2022;31(9):761–5.
7. Nuytens P, Vandeweghe S, D’haese R. Accuracy of a chairside reverse scanbody workflow for a complete arch implant-supported prosthesis using four intraoral scanners versus a desktop scanner. *J Dent*. 2023;138:1–9.
8. Hyspler P, Strnad J, Sala R, Dostalova T. Reverse scan technique: A verification method for the implant position in intraoral scans. *J Prosthet Dent*. 2023;S0022-3913(23):1–4.
9. Hyspler P, Urbanová P, Dostalova T. Comparison of the reverse scan technique with an intraoral scanner and the traditional impression technique. *J Prosthet Dent*. 2024;S0022-3913(24):00583-3.
10. Papaspyridakos P, Castellanos L, Bedrossian EA, Romeo D, Kudara Y, Chochlidakis K. Reverse scan body: Complete digital workflow for double full-arch zirconia prostheses. *J Prosthodont*. 2024:1–5.