

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
tese será disponibilizado somente
a partir de 05/04/2020.

Victor Eduardo de Souza Batista

**Análise biomecânica de opções protéticas para reabilitação de
maxila posterior com próteses implantossuportadas de três
elementos. Estudo pelo método dos elementos finitos 3D**

ARAÇATUBA – SP

2018

Victor Eduardo de Souza Batista

Análise biomecânica de opções protéticas para reabilitação de maxila posterior com próteses implantossuportadas de três elementos. Estudo pelo método dos elementos finitos 3D

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia do Câmpus de Araçatuba - UNESP, para a obtenção do título de Doutor em Odontologia - Área de Concentração em Prótese Dentária.

Orientador: Prof. Tit. Eduardo Piza Pellizzer

Coorientador: Prof. Adj. Fellippo Ramos Verri

ARAÇATUBA – SP

2018

Catálogo-na-Publicação (CIP)

Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação – FOA / UNESP

B333a Batista, Victor Eduardo de Souza.
Análise biomecânica de opções protéticas para reabilitação de maxila posterior com próteses implantossuportadas de três elementos. Estudo pelo método dos elementos finitos 3D / Victor Eduardo de Souza Batista. - Araçatuba, 2018
225 f. : il.; tab.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Odontologia de Araçatuba
Orientador: Prof. Eduardo Piza Pellizzer
Coorientador: Prof. Fellippo Ramos Verri

1. Fenômenos biomecânicos 2. Análise de elementos finitos 3. Implantes dentários I. Título

Black D3
CDD 617.69

Ana Claudia M. Grieger Manzatti – CRB-8/6315

Dados Curriculares

Victor Eduardo de Souza Batista

Nascimento	21/04/1988 – Junqueirópolis, São Paulo, Brasil
Filiação	Guido José Batista Maria Aparecida de Souza Batista
2008/2012	Graduação em Odontologia Faculdade de Odontologia de Adamantina – Faculdades Adamantinenses Integradas – FAI
2013/2015	Curso de Pós-Graduação em Odontologia, área de Prótese Dentária, em nível de Mestrado Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP
2015/2017	Especialização em Prótese Dentária
2015/2015	Estágio no exterior - The Forsyth Institute, Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos da América
2015/2017	Obtenção dos créditos referentes ao Curso de Pós-Graduação em Odontologia, área de Prótese Dentária, em nível de Doutorado Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP

Dedicatória

Dedicatória

À minha família,

À minha família, **Guido José Batista, Maria Aparecida de Souza Batista e Fábio Roberto de Souza Batista**, pelo suporte para a concretização deste sonho. Sem vocês, esta conquista jamais seria possível. Amo vocês incondicionalmente.

À minha mãe, **Maria Aparecida de Souza Batista**, pelo carinho, amor e apoio durante toda minha vida. Te amo mãe, a senhora é a melhor mãe do mundo!

Ao meu pai, **Guido José Batista**, por todo o incentivo na profissão, por dividir momentos únicos durante essa trajetória, por me apoiar nos momentos difíceis, por todos os ensinamentos durante minha vida. Te amo pai, o senhor é o melhor pai do mundo.

Ao meu irmão, **Fábio Roberto de Souza Batista**, por ser meu exemplo tanto pessoalmente, quanto profissionalmente. Por ser meu melhor amigo, por estar comigo em todos os momentos. Te amo irmão, você é um exemplo de irmão ideal!

À minha namorada

À minha namorada, **Christine Men Martins**, pelo amor e carinho incondicional, pelos momentos de risada e descontração. Você me faz um homem muito feliz, além disso, sua presença fez minha jornada acadêmica mais leve prazerosa e alegre. Te amo muito!

“É preciso amar as pessoas como se não houvesse o amanhã!”

Pais e Filhos – Legião Urbana

Dedico esta Tese.

Agradecimentos

Agradecimentos Especiais

Orientador

Meu orientador, Prof. Tit. **Eduardo Piza Pellizzer**, eu agradeço por todas as oportunidades ao longo do meu período na pós-graduação. O senhor é um exemplo de orientador e líder. Eu sempre levarei comigo suas orientações profissionais e pessoais. Não há palavras para expressar minha gratidão por tudo o que o senhor fez por mim durante meu período em Araçatuba. Espero continuar trabalhando com o senhor durante minha caminhada acadêmica. Muito obrigado de coração!

Orientador

Ao meu coorientador, Prof. Adj. **Felippo Ramos Verri**, eu agradeço pela amizade verdadeira, carinho, acolhimento e atenção durante toda minha formação profissional. O senhor é um exemplo para mim e espero um dia poder retribuir tudo que o senhor fez por mim ao longo desses anos. Não há palavras para expressar minha admiração, carinho e respeito. Além disso, eu gostaria de estender esses agradecimentos à Prof.^a Dr.^a **Ana Carolina Gonçalves Verri**, por ser sempre meiga, acolhedora e gentil comigo. Vocês são muito especiais para mim.

Agradecimientos

Agradecimientos

Agradecimentos

À Faculdade de Odontologia de Araçatuba - UNESP, na pessoa de seu diretor, Prof. Tit. **Wilson Roberto Pói** e de seu vice-diretor Prof. Tit. **João Eduardo Gomes Filho**, pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado em Odontologia.

Ao coordenador do Curso de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP, Prof. Adj. **André Luiz Fraga Briso**, por estimular os alunos e confiar nos futuros pesquisadores, por liderar com magnificência este programa de Pós-graduação.

Meus agradecimentos ao Prof. Tit. **Humberto Gennari Filho**, por ser um exemplo de pessoa, professor e pesquisador para mim. Tenho um imenso carinho, respeito e admiração pelo senhor. Eu tive a oportunidade e o prazer de aprender em cada diálogo que tive com o senhor durante meu período na pós-graduação. MUITÍSSIMO OBRIGADO!

Meus agradecimentos à Prof^ª. Tit. **Dalva Cruz Lagana**, por ser um exemplo de professora e pesquisadora. A senhora demonstrou muito conhecimento em todas as vezes que esteve presente em Araçatuba. Saiba que seus comentários, quando presente nos concursos de Titular e Livre Docência, aprimorou substancialmente nossos conhecimentos.

Ao Prof. Ass. Dr. **Paulo Renato Junqueira Zuem**, por todos os ensinamentos transmitidos neste período. Fico feliz por ter compartilhado momentos divertidos com o senhor no departamento. O senhor é um exemplo de pessoa e de profissional para mim. Muito obrigado!

Agradecimentos

Meus agradecimentos ao Prof. Dr. **Joel Ferreira Santiago Junior**, pela amizade verdadeira. Você é uma pessoa muito especial para mim. Você sempre me ajudou, desde a primeira vez que nos conhecemos e serei eternamente grato por isso. Espero um dia poder retribuir.

Meus agradecimentos ao Prof. Adj. **Daniel Augusto de Faria Almeida**, por todo seu apoio e incentivo durante todo o período da pós-graduação, por cuidar de mim como um irmão mais novo. Embora estejamos longe, sua amizade é muito importante para mim. De fato, não há palavras para expressar minha gratidão. Conte comigo sempre!

Prof. Ass. Dr. **Aldieris Alves Pesqueira**, por toda atenção e carinho. O senhor é uma pessoa diferenciada, sempre de bom humor. O senhor é um exemplo pesquisador e pessoa para mim. Muito obrigado por tudo!

Ao Prof. Ass. Dr. **Leonardo Perez Faverani**, pela amizade durante meu período na pós-graduação, além de ser um exemplo de profissional. Muito obrigado!

Meus agradecimentos especiais para o Prof. Dr. **André Luis Fabris**, pela atenção, apoio e amizade durante estes anos de convivência.

Aproveito a oportunidade para agradecer a Prof^a. Ass. Dr^a. **Karina Helga Turcio Carvalho** e a Prof^a. Ass. Dr^a. **Aimee Maria Guiotti** por todos os ensinamentos, sempre com muita atenção, competência e delicadeza.

Meus agradecimentos especiais para a Prof^a. Adj. **Daniela Micheline dos Santos** e Prof. Tit. **Marcelo Coelho Goiato** pela

Agradecimentos

convivência harmoniosa, pela atenção e direcionamento acadêmico ao longo do mestrado e doutorado.

Meus agradecimentos especiais para a Prof^a. Ass. Dr^a. **Adriana Cristina Zavanelli** e Prof. Ass. Dr. **José Vitor Quinelli Mazaro**, pelos ensinamentos durante meu período na pós-graduação.

Aos docentes do Departamento de Prótese Dentária, Prof^a. Adj. **Maria Cristina Rosifini Alves Rezende**, Prof. Adj. **Paulo Henrique dos Santos**, Prof. Adj. **Wirley Gonçalves Assunção**, Prof^a. Ass. Dr^a. **Débora de Barros Barbosa**, Prof. Ass. Dr. **Renato Salviato Fajardo** e Prof. Ass. Dr. **Stefan Fiuza de Carvalho Dekon**, por todo o carinho e atenção nos momentos em que precisei.

Aos professores do Departamento de Cirurgia e Clínica Integrada, em especial para a Prof^a. Adj. **Maria José Hitomi Nagata**, Prof. Ass. Dr. **Juliano Milanezi de Almeida** e Prof. Adj. **Letícia Helena Theodoro**, pelos ensinamentos durante minha formação na Faculdade de Odontologia de Araçatuba.

Aos professores do Departamento de Odontologia Restauradora, Prof. Ass. Dr. **Eloi Dezan Junior**, Prof. Adj. **Luciano Tavares Angelo Cintra**, Prof. Tit. **João Eduardo Gomes Filho**, Prof. Ass. Dr. **Gustavo Sivieri de Araújo** e Prof. Adj. **Rogério de Castilho Jacinto**, pelos momentos divertidos que registramos nos encontros da turma de Endodontia.

Agradecimentos

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Araçatuba - UNESP, **Valéria de Queiroz Marcondes Zagatto, Cristiane Regina Lui Matos e Lilian Sayuri Mada**, pela atenção, orientação e cordialidade.

Aos funcionários da Biblioteca: da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP, pela colaboração em todos os momentos.

Aos funcionários da **Seção de Triagem** desta faculdade.

Aos técnicos de laboratório do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, **Jander de Carvalho Inácio, Eduardo Rodrigues Cobo e Carlos Alberto Gonçalves**, bem como à secretária **Magda Requena Caciatore**, por serem sempre voluntariosos. Muito obrigado pela amizade de vocês.

Um agradecimento especial ao Dr. **Aljomar José Vechiato-Filho**, vulgo Aljo, pela amizade verdadeira. Sua amizade é muito importante para mim. Além disso, a distância física entre nós só fortalece a nossa amizade. Espero contar contigo sempre. Estendo esses sentimentos para a **Maria Cecilia Querido de Oliveira (Ceci)**, sua futura esposa, uma pessoa meiga que tem um coração (e paciência para te aguentar hahaha) enorme.

Ao meu amigo Me. **Júlio Cesar Silva de Oliveira**, outra grande amizade que tive a felicidade de fazer em Araçatuba.

Meus agradecimentos ao meu amigo e Doutorando Me. **Cleidiel Aparecido Araújo Lemos**, pela convivência no período da pós-graduação. De fato, tivemos boas histórias nesse período. Muito obrigado por ser esse

Agradecimentos

companheiro para todas as horas. Aprendi muito contigo! Saiba que desejo o melhor para você.

Aos membros da salinha do chefe Prof^ª. Dr^ª. **Caroline Cantieri de Melo**, Me. **Hiskell Francine Fernandes e Oliveira**, Me. **Ronaldo Silva Cruz**, Prof^ª. Dr^ª. **Carolina dos Santos Santinoni** e Me. **Jéssica Marcela de Luna Gomes**, pelos momentos de diversão proporcionados. Será impossível esquecer desta turma!

Um agradecimento especial aos meus mestres da graduação Prof. Tit. **Gildo Matheus**, Prof^ª. Tit. **Maria Tereza Giroto Matheus**, Prof. Dr^ª **Marceli Moço Silva**, Prof. Tit. **Edmur Aparecido Callestini**, Prof. Dr. **Gilson Machado D'Antônio**, Prof^ª. Dr^ª. **Anelise Rodolfo Ferreira Pieralini**, Prof^ª. Dr^ª. **Cíntia Megid Barbieri De Oliveira Pinto**, Prof. Dr. **Cláudio Maldonado Pastori**, Prof. Dr. **Albanir Gabriel Borrasca**, Prof^ª. Dr^ª. **Cristiane Fumiko Furuse**, Prof. Dr. **Fábio Tobias Perassi**, Prof. Dr. **Jean Paulo Rodolfo Ferreira**, Prof. Me. **Jeferson Da Silva Machado**, Prof. Dr. **Marcos Tadeu Adas Saliba**, Prof. Me. **Rodrigo Otoboni Molina**, Prof^ª. Dr^ª. **Sabrina Pavan**, Prof. Me. **Walter Antônio Rammazzina** pelos ensinamentos na graduação. Em especial, à Prof^ª. Dr^ª. **Graziela Garrido Mori Panucci**, por toda a oportunidade dada, desde minha graduação até hoje. Não há palavras para expressar minha gratidão, espero, um dia, retribuir.

À Prof^ª. Tit. **Brenda Paula Figueiredo de Almeida Gomes**, pelo companheirismo e amizade durante meu período em Boston, USA. De fato,

Agradecimentos

aprendi muito com a professora. Todas suas dicas foram fundamentais para meu crescimento profissional e pessoa. Muito obrigado!

Aos meus amigos de trabalho da UNOESTE, representados pela diretora Prof^a. Me. **Claudia de Oliveira Lima Coelho**.

Aos meus amigos **Rafael Stoffalette João, Eduardo Marconato Couto, Mario Augusto Rissi, Alan Bertoli Bassoli, Antônio Carlos Pigossi Junior, Marco Antonio Sabatini Ribeiro e Iago Cortellini**, bem como todos meus colegas da cidade de Osvaldo Cruz, por estarem presentes nos momentos especiais de minha vida. Agradeço a amizade sincera de todos vocês.

Ao Prof. Me. **Marco Antonio Sabatini Ribeiro**, pela correção gramatical da tese.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Bolsa de Doutorado - Processo N°2015/07383-8).

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Auxílio Regular - Processo N°2009/16164-7).

À empresa Conexão Sistemas de Prótese.

Àqueles que contribuíram ou participaram direta ou indiretamente da elaboração deste trabalho.

“Sonhar, viver e todo dia agradecer.”

Aliados

Epígrafe

“Aprender sem pensar é tempo perdido.”

Confúcio

Resumo Geral

Batista, VES. Análise biomecânica de opções protéticas para reabilitação de maxila posterior com próteses implantossuportadas de três elementos. Estudo pelo método dos elementos finitos 3D. [Tese]. Araçatuba: UNESP – Univ. Estadual Paulista; 2018.

Resumo Geral

Proposição: O propósito do estudo foi estudar o comportamento biomecânico de próteses de três elementos implantossuportadas diante das seguintes variáveis: união (coroas unitárias e esplintadas: em linha reta e em posicionamento tripoidal), comprimento e diâmetro do implante, além da redução do número de implantes (pôntico central), utilizando a metodologia de elementos finitos 3D.

Material e Método: Vinte e seis modelos tridimensionais foram simulados com o auxílio dos programas InVesalius, Rhinoceros 4.0 e Solidworks 2016. Cada modelo representou uma seção de osso da região posterior maxilar, na forma de um bloco de osso tipo IV (cortical e esponjoso), com a presença de prótese de três elementos suportada por dois ou três implantes, do tipo hexágono externo, em diferentes situações clínicas, variando os fatores união (coroas unitárias e esplintadas: em linha reta e em posicionamento tripoidal), comprimento, diâmetro e número de implantes. Os desenhos tridimensionais foram exportados ao programa de pré- e pós-processamento FEMAP 11.1.2 para a geração da malha e aplicação de carga de 400N axial e 200N oblíqua (45°). Após a resolução do problema matemático por meio do programa de elementos finitos Nei Nastran 11.1,

Resumo Geral

os resultados foram visualizados através de mapas de Tensão Máxima Principal (MPa) e Microdeformação ($\mu\epsilon$) para tecido ósseo cortical e mapas de Tensão von Mises (MPa) para parafuso de fixação.

Resultados: De um modo geral, modelos com coroas esplintadas associadas ao posicionamento tripoidal apresentaram os melhores comportamentos biomecânicos. A redução do número de implantes gerou um comportamento biomecânico desfavorável. O aumento do diâmetro da região do molar foi benéfico para melhorar o desempenho biomecânico da reabilitação.

Conclusões: Planejamentos considerando a instalação de um implante para cada dente perdido ofereceram os menores valores de tensão nos parafusos de fixação e menores valores de tensão/microdeformação no tecido ósseo cortical. A esplintagem associada ao posicionamento tripoidal dos implantes foi benéfica para melhorar o comportamento biomecânico das reabilitações, bem como o aumento do diâmetro do implante da região do molar.

Palavras-chave: Fenômenos biomecânicos; Análise de elementos finitos; Implantes dentários.

Abstract

Abstract

Abstract

Batista, VES. Biomechanical analysis of prosthetic options for rehabilitation of posterior maxillary area with three-unit fixed prosthesis supported by implants. A 3D finite element analysis. [Thesis]. Aracatuba: UNESP – Univ. Estadual Paulista; 2018.

Abstract

Objective: The aim of this study was to analyze the biomechanical behavior of three-unit fixed prosthesis varying the union (single crowns and splinted crowns: straight-line and offset implant configurations), length, diameter, and the number of implant (supported by two or three implants) by 3D finite element analysis.

Material and Methods: Twenty-six 3-D models were simulated with the software's In Vesalius, Rhinoceros 4.0, SolidWorks 2010 and. Each model represented a posterior maxillary bone section simulating type IV bone (cortical and spongy), with presence of 3-units fixed prosthesis supported by two or three dental implants, external hexagonal connection, in different clinical situations, varying the factors union (single crowns and splinted crowns: straight-line and offset implant configurations), length and diameter. The 3D models were exported to the software FEMAP 11.1.2 for pre- and post- processing and mesh generation besides load definition (400N vertical and 200N oblique,45°). After, the models were solved by NeiNastran 11.1 finite element software and the results were visualized by maximum

Abstract

principal stress (MPa) and microstrain ($\mu\epsilon$) maps to cortical bone tissue and von Mises stress (MPa) map to fixation screws.

Results: Overall, the models with splinted crowns associated with offset implant placement showed the best biomechanical behavior. The reduction in the number of implants generated a biomechanical behavior. The increase of the implant diameter in the molar region was beneficial to improve the biomechanical behavior of the dental rehabilitation.

Conclusion: Planning considering the placement of an implant for each lost tooth offered the lowest values of stress in the fixation screws and the lowest values of strain/microdeformation in the cortical bone tissue. The splinting associated with offset implant configuration was beneficial to improve the biomechanical behavior of the rehabilitations, as well as the increase of the implant diameter of the molar region.

Keywords: Biomechanical Phenomena; Finite Element Analysis; Dental Implants.

Lista de Figuras

Capítulo 1

Figura 1.	Mapa de Tensão Máxima Principal: tecido ósseo cortical. Carregamento axial, vista oclusal.....	58
Figura 2.	Mapa de Tensão Máxima Principal: tecido ósseo cortical. Carregamento oblíquo, vista oclusal.....	59
Figura 3.	Valores de Tensão Máxima Principal no tecido ósseo cortical sob carregamento oblíquo. Azul, modelos com coroas unitárias; verde, modelos com coroas esplintadas; vermelho, modelos com coroas esplintadas em posicionamento tripoidal.....	62
Figura 4.	Mapa de Microdeformação: tecido ósseo cortical. Carregamento axial, vista oclusal.....	63
Figura 5.	Mapa de Microdeformação: tecido ósseo cortical. Carregamento oblíquo, vista oclusal.....	64
Figura 6.	Valores de Microdeformação no tecido ósseo cortical sob carregamento oblíquo.....	65

Capítulo 2

Figura 1.	Mapa de Tensão Máxima Principal: tecido ósseo cortical. Carregamento axial, vista oclusal.....	92
Figura 2.	Mapa de Tensão Máxima Principal: tecido ósseo cortical. Carregamento oblíquo, vista oclusal.....	93
Figura 3.	Mapa de Microdeformação: tecido ósseo cortical. Carregamento axial, vista oclusal.....	96
Figura 4.	Mapa de Microdeformação: tecido ósseo cortical. Carregamento oblíquo, vista oclusal.....	97
Figura 5.	Valores de Microdeformação no tecido ósseo cortical sob carregamento oblíquo.....	98

Capítulo 3

Figura 1.	Mapa de Tensão Máxima Principal: tecido ósseo cortical. Carregamento axial, vista oclusal.....	124
Figura 2.	Mapa de Tensão Máxima Principal: tecido ósseo cortical. Carregamento oblíquo, vista oclusal.....	125
Figura 3.	Mapa de Microdeformação: tecido ósseo cortical. Carregamento axial, vista oclusal.....	128
Figura 4.	Mapa de Microdeformação: tecido ósseo cortical. Carregamento oblíquo, vista oclusal.....	129
Figura 5.	Valores de Microdeformação no tecido ósseo cortical sob carregamento oblíquo. Azul, modelos com coroas unitárias; verde, modelos com coroas esplintadas; vermelho, modelos com pântico central.....	130

Capítulo 4

Figura 1.	Valores de tensão de von Mises no parafuso de fixação sob carregamento axial para cada modelo.....	156
Figura 2.	Valores de tensão de von Mises no parafuso de fixação sob carregamento oblíquo para cada modelo.....	157
Figura 3.	Valores de tensão de von Mises no parafuso de fixação do 1º PM sob carregamento oblíquo.....	158
Figura 4.	Valores de tensão de von Mises no parafuso de fixação do 2º PM sob carregamento oblíquo.....	159
Figura 5.	Valores de tensão de von Mises no parafuso de fixação do 1º M sob carregamento oblíquo.....	160

Anexo

Figura 1.	Implante de hexágono externo no formato Rhinoceros.....	174
Figura 2.	Fotografia do bloco de resina com coroa fixada para ser escaneada, retirada de trabalhos anteriores (Falcón-Antenucci 2010).....	176
Figura 3.	Ilustrações de vários ângulos do desenho da coroa obtido após ser escaneada e já importado para o programa Rhinoceros 3D 4.0, retidas de trabalhos anteriores (Falcón-Antenucci 2010).....	176
Figura 4.	Modelagem dos tecidos ósseos, componentes protéticos e implantes finalizados.....	177
Figura 5.	Malha de elementos finitos finalizada. (A) Estruturas separadas. (B) Estruturas juntas.....	179
Figura 6.	Aplicação esquemática de cargas axiais, sendo 50N por cúspide totalizando 400N total – Vista Vestibular.....	181
Figura 7.	Restrição do modelo pela base do bloco ósseo em amarelo.....	182

Lista de Tabelas

Capítulo 1

Tabela 1.	Descrição dos modelos.....	52
Tabela 2.	Propriedades dos materiais.....	53
Tabela 3.	Número de nós e elementos para cada modelo..	54

Capítulo 2

Tabela 1.	Descrição dos modelos.....	86
Tabela 2.	Propriedades dos Materiais.....	87
Tabela 3.	Número de nós e elementos para cada modelo..	88

Capítulo 3

Tabela 1.	Descrição dos modelos.....	118
Tabela 2.	Propriedades dos Materiais.....	119
Tabela 3.	Número de nós e elementos para cada modelo..	121

Capítulo 4

Tabela 1.	Descrição dos modelos.....	151
Tabela 2.	Propriedades dos Materiais.....	153
Tabela 3.	Número de nós e elementos para cada modelo..	154

Anexo

Tabela 1.	Propriedades dos Materiais.....	179
------------------	---------------------------------	------------

Lista de Abreviaturas e Siglas

GPa	-	Giga Pascal
HE	-	Hexágono Externo
MEF	-	Método dos Elementos Finitos
M1	-	Modelo 1
M2	-	Modelo 2
M3	-	Modelo 3
M4	-	Modelo 4
M5	-	Modelo 5
M6	-	Modelo 6
M7	-	Modelo 7
M8	-	Modelo 8
M9	-	Modelo 9
M10	-	Modelo 10
M11	-	Modelo 11
M12	-	Modelo 12
M13	-	Modelo 13
M14	-	Modelo 14
M15	-	Modelo 15
M16	-	Modelo 16
M17	-	Modelo 17
M18	-	Modelo 18

Lista de Abreviaturas e Siglas

M19	-	Modelo 19
M20	-	Modelo 20
M21	-	Modelo 21
M22	-	Modelo 22
M23	-	Modelo 23
M24	-	Modelo 24
M25	-	Modelo 25
M26	-	Modelo 26
Mm	-	Milímetros
MPa	-	Mega Pascal
N	-	Newton
NiCr	-	Níquel-Cromo
UCLA	-	<i>Universal Castable Long Abutment</i>
1° PM	-	Primeiro premolar
2° PM	-	Segundo premolar
1° M	-	Primeiro molar
3D	-	Tridimensional
$\mu\epsilon$	-	Microstrain ou Microdeformação
\emptyset	-	Diâmetro

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	37
2. CAPÍTULO 1 – Análise biomecânica do tecido ósseo em planejamentos de próteses de três elementos implantossuportadas, variando o fator união (coroas unitárias e esplintadas em linha reta e em posicionamento tripoidal) e comprimento dos implantes, na região posterior de maxila. MEF-3D.	43
2.1 RESUMO.....	43
2.2 INTRODUÇÃO.....	45
2.3 PROPOSIÇÃO.....	48
2.4 MATERIAL E MÉTODO.....	49
2.5 RESULTADOS.....	56
2.6 DISCUSSÃO.....	66
2.7 CONCLUSÃO.....	70
2.8 REFERÊNCIAS.....	71
3. CAPÍTULO 2 – Análise biomecânica do tecido ósseo em planejamentos de próteses de três elementos implantossuportadas, variando o fator união, comprimento e diâmetro dos implantes, na região posterior de maxila. MEF-3D.	78
3.1 RESUMO.....	78
3.2 INTRODUÇÃO.....	80
3.3 PROPOSIÇÃO.....	83
3.4 MATERIAL E MÉTODO.....	84
3.5 RESULTADOS.....	90
3.6 DISCUSSÃO.....	99
3.7 CONCLUSÃO.....	102
3.8 REFERÊNCIAS.....	103

4. CAPÍTULO 3 – Análise biomecânica do tecido ósseo em planejamentos de próteses de três elementos implantossuportadas, variando o fator esplintagem, comprimento dos implantes e número de implantes, na região posterior de maxila. MEF-3D.	110
4.1 RESUMO.....	110
4.2 INTRODUÇÃO.....	112
4.3 PROPOSIÇÃO.....	115
4.4 MATERIAL E MÉTODO.....	116
4.5 RESULTADOS.....	122
4.6 DISCUSSÃO.....	131
4.7 CONCLUSÃO.....	135
4.8 REFERÊNCIAS.....	136
5. CAPÍTULO 4 – Distribuição de tensão no parafuso de fixação de prótese de três elementos metalocerâmica frente à diferentes planejamentos protéticos para região posterior de maxila. MEF-3D	143
4.1 RESUMO.....	143
4.2 INTRODUÇÃO.....	145
4.3 PROPOSIÇÃO.....	147
4.4 MATERIAL E MÉTODO.....	148
4.5 RESULTADOS.....	155
4.6 DISCUSSÃO.....	162
4.7 CONCLUSÃO.....	165
4.8 REFERÊNCIAS.....	166
ANEXOS.....	172
Anexo A – Detalhamento da Metodologia.....	172
Anexo B – Normas da revista selecionada para a publicação dos artigos.....	185
Anexo C – Referências da introdução geral.....	191
Anexo D – Figuras adicionais.....	198

Introdução Geral

Durante muito tempo, a única opção de tratamento de paciente com edentulismo parcial sem suporte posterior (extremidade livre extensa) era a utilização de prótese parcial removível. Desta forma, o advento dos implantes dentários possibilitou a reabilitação desses pacientes de modo mais funcional (Vogel et al., 2013). Entretanto, um planejamento inadequado das reabilitações implantossuportadas pode gerar complicações mecânicas e biológicas, levando à falha tanto do implante dentário quanto da prótese (Abu-Hammad et al., 2007).

Contudo, fatores biomecânicos como a esplintagem de coroas sobre implante (Wang et al., 2002), número, comprimento e diâmetro dos implantes, bem como a posição dos implantes (Himmlová et al., 2004, de Souza Batista et al., 2017, de Souza batista et al., 2017b), qualidade e quantidade óssea do leito receptor (Sevimay et al., 2005) podem prejudicar a longevidade do implante e da prótese. Além disso, a literatura tem associado uma maior tendência à falha em implantes dentários instalados na região posterior de maxila, que se trata de uma área de menor densidade óssea (Goiato et al., 2014; Jemt et al., 1996).

A literatura apresenta diferentes formas para a reabilitação de pacientes que apresentam ausência dos premolares e primeiro molar ou ausência do segundo premolar e molares, principalmente quando se planeja a instalação de três implantes para suportar a prótese (Batista et al., 2015). Assim, os implantes podem ser posicionados de duas formas:

Introdução Geral

em linha reta ou tripoidal (Batista et al., 2015; Sato et al., 2012). Além disso, a prótese pode ser realizada através de coroas unitárias ou esplintadas (Pellizzer et al., 2014).

Esplintar ou não esplintar a prótese ainda é uma dúvida frequente entre os clínicos. Por um lado, a esplintagem pode proporcionar melhor distribuição de tensão quando comparadas com coroas unitárias (Bergkvist et al., 2008; Pellizzer et al., 2014), principalmente em osso de baixa qualidade (Wang et al., 2002). Por outro lado, a utilização de coroas unitárias (não esplintadas) pode oferecer maior acesso para a higienização, melhor passividade de inserção da prótese e maior facilidade em executar um perfil de emergência mais adequado (Solnit and Schneider, 1998; Vázquez Álvarez et al., 2015).

A literatura sugere que uma ligeira alteração no posicionamento do implante central, configurando o tripoidismo ou posicionamento tripoidal, pode oferecer benefícios biomecânicos para a reabilitação esplintada (Weinberg and Kruger, 1996, Batista et al., 2015, de Souza Batista et al., 2017). Assim, o efeito do posicionamento do implante tem sido estudado por diferentes ensaios biomecânicos (Abreu et al., 2012; Abu-Hammad et al., 2007; Itoh et al., 2004). Em uma revisão sistemática publicada em 2015, os autores concluíram que não há um consenso entre os estudos que avaliaram o efeito do posicionamento do implante, porém o posicionamento tripoidal apresentou uma melhora na distribuição de tensões ao tecido ósseo em frente a carga oblíqua, quando comparado com implantes em

Introdução Geral

linha reta (de Souza Batista et al., 2015). Além disso, a literatura é escassa de informações sobre o efeito do posicionamento tripoidal em região posterior de maxila (de Souza Batista et al., 2015, de Souza Batista et al. 2017).

A instalação de implantes curtos (< 10 mm) na região posterior de maxila em situações limítrofes de reabsorção vertical do rebordo alveolar tem sido uma modalidade de tratamento amplamente utilizada (Monje et al., 2013, Felice et al., 2011, Lemos et al.; 2016). Os principais benefícios estão relacionados com a possibilidade de evitar a instalação de implantes internamente ao seio maxilar, bem como eliminar a necessidade da realização de cirurgias invasivas (Le et al., 2013, Bassi et al., 2013, Atieh et al., 2012, Yang et al., 2011). Desta maneira, esta modalidade de tratamento é capaz de reduzir a morbidade, o tempo e o custo do tratamento reabilitador (Le et al., 2013, Bassi et al., 2013, Tawil et al., 2006, Elangovan et al., 2013), permitindo um maior nível de aceitabilidade do paciente ao tratamento proposto pelo implantodontista. Entretanto, como desvantagens destacam-se a diminuição da superfície de contato osso/implante e a proporção coroa clínica/implante desfavorável (Atieh et al., 2012, Elangovan et al., 2013). Desta forma, o entendimento do comportamento biomecânico de implantes curtos, principalmente quando associados aos implantes de maiores comprimentos e diâmetros, torna-se necessário com a finalidade de guiar um planejamento mais seguro e previsível.

Introdução Geral

Alguns autores propõem a redução do número de implantes que suportam as próteses de três elementos, com a finalidade de contornar fatores financeiros e cirúrgicos (Aglietta et al., 2012; Romeo et al., 2012). Neste contexto, a utilização de pântico central é indicada como alternativa para o tratamento ideal, porém a literatura aponta que são mais susceptíveis a complicações protéticas (Kreissl et al., 2007; Chen et al., 2012, de Souza Batista et al., 2017b). Entretanto, esta situação não está totalmente compreendida, principalmente quando associada à redução do comprimento do implante.

Diferentes metodologias estudam a biomecânica de forma estática, tais como a análise extensométrica, a análise fotoelástica, a imagem de correlação digital e a análise de elementos finitos (Pesqueira et al., 2014, Tiozzi et al., 2014). A metodologia de elementos finitos (MEF) é definida como uma simulação numérica que determina a tensão e a deformação através de modelos de estruturas geométricas complexas, por exemplo, tecido ósseo, componentes protéticos e implante dentário (Verri et al., 2014). O modelo 3D desenvolvido permite a simulação de aplicação de carga em pontos específicos que, após os cálculos matemáticos, gera mapas de tensão e deformação transmitidas nas estruturas analisadas (Akça & Iplikçioğlu, 2001, de Faria Almeida et al., 2014). Desta forma, os dados obtidos pela MEF-3D já têm sido indicados como passíveis de melhorar o entendimento biomecânico de diversos planejamentos utilizados na implantodontia, em seguida, terem seus resultados

Introdução Geral

extrapolados cuidadosamente para a clínica diária (van Staden et al., 2014, Pellizzer et al., 2012, Toniollo et al., 2017).

Diante do exposto, a literatura ainda não aponta um protocolo de planejamento para a situação clínica de próteses fixas implantossuportadas que seja mais favorável biomecanicamente em relação à esplintagem, ao comprimento, ao diâmetro e ao número dos implantes. Portanto, a compreensão dessas variáveis pode orientar biomecanicamente um protocolo de reabilitação de regiões de baixa densidade óssea, orientando estudos clínicos futuros e auxiliando o desenvolvimento de uma implantodontia mais segura e previsível aos pacientes.

No presente trabalho, quatro capítulos foram desenvolvidos com a finalidade de analisar a associação desses fatores.

4.8 Referências

Abu-Hammad, O., Khraisat, A., Dar-Odeh, N., Jagger, D.C., Hammerle, C.H., 2007. The staggered installation of dental implants and its effect on bone stresses. *Clin. Implant. Dent. Relat. Res.* 9, 121-127.

Batista, V.E., Santiago Junior, J.F., Almeida, D.A., Lopes, L.F., Verri, F.R., Pellizzer, E.P., 2015. The effect of offset implant configuration on bone stress distribution: a systematic review. *J Prosthodont.* 24, 93-99.

Bordin, D., Bergamo, E.T.P., Fardin, V.P., Coelho, P.G., Bonfante, E.A., 2017. Fracture strength and probability of survival of narrow and extra-narrow dental implants after fatigue testing: In vitro and in silico analysis. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 71, 244-249.

Clelland, N., Chaudhry, J., Rashid, R.G., McGlumphy, E., 2016. Split-Mouth Comparison of Splinted and Nonsplinted Protheses on Short Implants: 3-Year Results. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.*, 31, 1135-1141.

de Paula, G.A., da Mota, A.S., Moreira, A.N., de Magalhaes, C.S., Cornacchia, T.P., Cimini, C.A. Jr., 2012. The effect of prosthesis length and implant diameter on the stress distribution in tooth-implant-supported protheses: a finite element analysis. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* 27, e19-28.

de Souza Batista, V.E., Verri, F.R., Almeida, D.A.F., Santiago Junior, J.F., Lemos, C.A.A., Pellizzer, E.P., 2017. Evaluation of the effect of an offset implant configuration in the posterior maxilla with external hexagon implant

platform: A 3-dimensional finite element analysis. *J Prosthet. Dent.* 118, 363-371.

de Souza Batista, V.E., Verri, F.R., Almeida, D.A., Santiago Junior, J.F., Lemos, C.A., Pellizzer, E.P., 2017b. Finite element analysis of implant-supported prosthesis with pontic and cantilever in the posterior maxilla. *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.* 20, 663-670.

Freitas-Junior, A.C., Bonfante, E.A., Martins, L.M., Silva, N.R., Marotta, L., Coelho, P.G., 2011. Effect of implant diameter on reliability and failure modes of molar crowns. *Int. J. Prosthodont.* 24, 557-561.

Kim, Y., Oh, T.J., Misch, C.E., Wang, H.L., 2005. Occlusal considerations in implant therapy: Clinical guidelines with biomechanical rationale. *Clin. Oral Implants. Res.* 16, 26-35.

Lekholm, U., Zarb, G., 1985. Patient selection and preparation. *Tissue-integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry.* Quintessence Publishing Co, Inc, Chicago, IL. pp. 199–209.

Lemos, C.A.A., Verri, F.R., Santiago, J.F.Júnior., Almeida, D.A.F., Batista, V.E.S., Noritomi, P.Y., Pellizzer, EP., 2018. Retention System and Splinting on Morse Taper Implants in the Posterior Maxilla by 3D Finite Element Analysis. *Braz. Dent. J.* 29, 30-35

Minatel, L., Verri, F.R., Kudo, G.A.H., de Faria Almeida, D.A., de Souza Batista, V.E., Lemos, C.A.A., Pellizzer, E.P., Santiago, J.F.Junior., 2017. Effect of different types of prosthetic platforms on stress-distribution in

dental implant-supported prostheses. *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.* 1, 35-42.

Moraes, S.L., Pellizzer, E.P., Verri, F.R., Santiago, J.F. Jr., Silva, J.V., 2015. Three-dimensional finite element analysis of stress distribution in retention screws of different crown-implant ratios. *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.* 18, 689-696.

Nishioka, R.S., de Vasconcellos, L.G., de Melo Nishioka, G.N., Comparative strain gauge analysis of external and internal hexagon, Morse taper, and influence of straight and offset implant configuration. *Implant Dent.* 20, e24-32.

Nishioka, R.S., de Vasconcellos, L.G., de Melo, Nishioka, L.N., 2009. External hexagon and internal hexagon in straight and offset implant placement: strain gauge analysis. *Implant Dent.* 18, 512-20.

Pellizzer, E.P., Verri, F.R., Falcon-Antenucci, R.M., Júnior, J.F., de Carvalho, P.S., de Moraes, S.L., Noritomi, P.Y., 2012. Stress analysis in platform-switching implants: a 3-dimensional finite element study. *J Oral Implantol.* 38, 587-594.

Perelli, M., Abundo, R., Corrente, G., Saccone, C., 2012. Short (5 and 7 mm long) porous implants in the posterior atrophic maxilla: a 5-year report of a prospective single-cohort study. *Eur. J. Oral Implantol.* 5, 265-272.

Puri, N., Pradhan, K.L., Chandna, A., Sehgal, V., Gupta, R., 2007. Biometric study of tooth size in normal, crowded, and spaced permanent dentitions. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* 132, 279.e7-14.

Sertgöz, A. 1997. Finite element analysis study of the effect of superstructure material on stress distribution in an implant-supported fixed prosthesis. *Int. J. Prosthodont.* 10, 19-27.

Sevimay, M., Turhan, F., Kiliçarslan, M.A., Eskitascioglu, G., 2005. Three-dimensional finite element analysis of the effect of different bone quality on stress distribution in an implant-supported crown. *J. Prosthet. Dent.* 93, 227-234.

Shi, J.Y., Xu, F.Y., Zhuang, L.F., Gu, Y.X., Qiao, S.C., Lai, H.C., 2018. Long-term outcomes of narrow diameter implants in posterior jaws: A retrospective study with at least 8-year follow-up. *Clin. Oral. Implants. Res.* 29, 76-81.

Sütpideler, M., Eckert, S.E., Zobitz, M., An, KN., 2004. Finite element analysis of effect of prosthesis height, angle of force application, and implant offset on supporting bone. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* 19, 819-825.

Torcato, L.B., Pellizzer, E.P., Verri, F.R., Falcón-Antenucci, R.M., Batista, V.E., Lopes, L.F., 2014. Effect of the parafunctional occlusal loading and crown height on stress distribution. *Braz. Dent J.* 25, 554-560.

Ueda, N., Takayama, Y., Yokoyama, A., 2017. Minimization of dental implant diameter and length according to bone quality determined by finite element analysis and optimized calculation. *J. Prosthodont. Res.* 61, 324-332.

van Staden, R.C., Li, X., Guan, H., Johnson, N.W., Reher, P., Loo, Y.C., 2014. A finite element study of short dental implants in the posterior maxilla. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* 29, e147-154.

Verri, F.R., Batista, V.E., Santiago, J.F. Jr., Almeida, D.A., Pellizzer, E.P., 2014. Effect of crown-to-implant ratio on peri-implant stress: a finite element analysis. *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.* 45, 234-240.

Verri, F.R., Cruz, R.S., de Souza Batista, V.E., Almeida, D.A., Verri, A.C., Lemos, C.A., Santiago Júnior, J.F., Pellizzer, E.P., 2016. Can the modeling for simplification of a dental implant surface affect the accuracy of 3D finite element analysis? *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.* 19. 1665-1672.

Verri, F.R., Santiago, J.F.Jr., Almeida, D.A., de Souza Batista, V.E., Araujo Lemos, C.A., Mello, C.C., Pellizzer, E.P., 2017. Biomechanical Three-Dimensional Finite Element Analysis of Single Implant-Supported Prosthesis in the Anterior Maxilla, with Different Surgical Techniques and Implant Types. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.* 32, e191-e198.