

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 21/07/2022.

Ronaldo Silva Cruz

*Análise biomecânica envolvendo implantes
estreitos para reabilitações unitárias na região
maxilar anterior.*

Araçatuba – SP

2020

Ronaldo Silva Cruz

*Análise biomecânica envolvendo implantes
estreitos para reabilitações unitárias na região
maxilar anterior.*

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia do
Câmpus de Araçatuba – UNESP, para a obtenção
do título de Doutor em Ciência Odontológica –
Área de Concentração em Biomateriais.

Orientador: Prof. Ass. Dr. Fellippo Ramos Verri

Coorientador: Prof. Tit. Eduardo Piza Pellizzer

Araçatuba – SP

2020

Catálogo na Publicação (CIP)

Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação – FOA / UNESP

Cruz, Ronaldo Silva.

C957a Análise biomecânica envolvendo implantes estreitos
para reabilitações unitárias na região maxilar anterior /

Ronaldo Silva Cruz. - Araçatuba, 2020

113 f. : il. ; tab.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Odontologia de Araçatuba

Orientador: Prof. Fellippo Ramos Verri

Coorientador: Prof. Eduardo Piza Pellizzer

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

Black D15

CDD 617.695

Claudio Hideo Matsumoto CRB-8/5550

Dados Curriculares

Ronaldo Silva Cruz

Nascimento 07/01/1988 – São Paulo / São Paulo

Filiação Veraldino do Rosario Maques Cruz
Raimunda Alves da Silva

2010/2014 Graduação em Odontologia Faculdade de Odontologia de Araçatuba
– Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

2015/2017 Curso de Pós-Graduação em Ciência Odontológica – Área de
Concentração em Biomateriais, em nível de Mestrado Faculdade de
Odontologia de Araçatuba – UNESP

2017/2019 Especialização em Prótese Dentária – Faculdade de Odontologia de
Araçatuba – UNESP

Dedicatória

Gostaria de externar os meus sinceros agradecimentos às pessoas que me apoiaram nesta trajetória.

À Deus

Gostaria de dedicar a conquista dessa etapa primeiramente à Deus, porque sem Ele, eu nada seria, **Obrigado** “SENHOR” por tudo o que aconteceu e acontece em minha vida, por me capacitar a concluir este projeto, por me agraciar com uma linda família e por inserir bons amigos na minha caminhada.

Sou muito grato por cada dia vivido com saúde e com suas bênçãos até hoje, na realização de mais um sonho e por fim, agradeço por ter me dado bom ânimo nas horas mais difíceis dessa caminhada.

Aos meus pais,

À minha mãe, **Raimunda Alves da Silva**, obrigado pelo carinho, amor incondicional e por me apoiar em todas as minhas escolhas, muito obrigado, por proporcionar a realização desse sonho.

Ao meu pai, **Veraldino do Rosario Marques Cruz**, obrigado por todo incentivo, por ter sido um exemplo como pessoa, por sempre me mostrar que sem luta e perseverança não há vitórias e principalmente, me ensinar a nunca desistir dos meus sonhos.

Sempre serei grato e ciente de todos os sacrifícios que fizeram, apesar das dificuldades que encontramos nessa caminhada chegamos ao fim de mais uma etapa, e sem o apoio de vocês, não conseguiria realizar este sonho.

A vocês, só tenho a agradecer por estarem sempre ao meu lado, me dando forças em todas as vezes que fraquejei e por terem demonstrado que tudo pode ser alcançado quando temos amor, fé e dedicação. Sem dúvida nenhuma, vocês são meus melhores amigos. Meu

amor por vocês é eterno e se Deus me desse a chance de viver outra vez, só valeria se eu tivesse vocês em minha vida novamente.

Aos meus irmãos,

Dedico aos meus irmãos, **Marinilton Silva Marques, Marinoel Silva Marques, Edilaine Silva Marques, Noelia Silva Marques e Noelda Silva Marque**, pelo incentivo, confiança e apoio, que foram fundamentais para que eu tornasse esse sonho realidade.

Obrigado por serem um espelho para minha formação, como pessoa e como profissional, tento refletir todos os dias os valores que me ensinaram. Tenho muito orgulho de cada um, sem vocês essa caminhada seria mais difícil. Agradeço todos os dias a DEUS por tê-los como irmãos.

Amo vocês!!!

Aos sobrinhos,

Dedico aos meus sobrinhos, **Amanda Laure Brandão Marques, Júlia Horrana Marques Cruz, João Gabriel Brandão Marques, Rayssa Marques Cedraz, Gabriel Marques Trindade, Sofia Marques Nobre e Cecília Marques Cedraz**, pelo carinho, amor e por me tornarem o tio mais feliz do mundo, agradeço a Deus pela dádiva de tê-los em minha vida, pois tenho a oportunidade de partilhar momentos únicos e intesos com vocês.

"A vida seria chata sem vocês".

A família da minha esposa

Dedico os seus pais, **Dorivaldo Martins de Oliveira e Maria Angélica Muricy de Oliveira** e sua irmã, **Bruna Muricy de Oliveira**. Obrigado por sempre me incentivarem, pelo carinho, amor e principalmente por terem me acolhido como membro da família.

A minha amada esposa

Dedico a minha amada, **Tamires Muricy de Oliveira Cruz**, por estar junto comigo desde o início desta caminhada, e por me ajudar quando mais precisei, obrigado por ter acreditado nos meus sonhos. Tê-la ao meu lado foi essencial para não desistir nos momentos em que fraquejei, sem você nada teria sentido, com certeza essa caminhada seria muito mais difícil.

Obrigado pelas concessões que fez em prol desta realização, por ter suportado a distância e minha ausência em momentos importantes. Sou grato por sua paciência e compreensão, por acreditar no meu potencial e sempre me apoiar.

Algumas escolhas mudam nossas vidas completamente, e você foi uma dessas, com certeza foi a melhor escolha que poderia fazer, agradeço a Deus por tê-la colocado em meu caminho. Obrigado por fazer de mim um homem mais feliz ao carregar em seu ventre um pedacinho de nós, amo vocês incondicionalmente.

Te amo!!!

Agradecimentos

Especiais

Ao meu orientador,

Gostraia de agradecer ao **Professor Adjunto Fellippo Ramos Verri**, por ser o meu mentor ao longo de toda a minha trajetória na pós graduação, sou muito grato pelos ensinamentos, carinho, compreensão, paciência, companheirismo e principalmente pela dedicação e competência por tudo que faz. Muito obrigado por acreditar em mim e pelas oportunidades concedidas no decorrer desses 8 anos de convivência. Profissionalmente representa um exemplo a seguir para vida toda, principalmente por sua ética, competência, caráter e dedicação. Espero contar sempre com essa nossa amizade. Aproveito a oportunidade para estender os agradecimentos à sua esposa **Profª. Drª. Ana Carolina Gonçalves Verri**, pela amizade, por me receber sempre de braços abertos em sua casa, me tratando com gentileza. Obrigado por tudo!

Coorientador

Agradeço ao meu coorientador, **Professor Titular Eduardo Piza Pellizzer**, pela amizade, pelo convívio, carinho, acolhimento e atenção, ao longo dessa trajetória acadêmica. Obrigado pelos ensinamentos, que terei guardados sempre comigo. Muito obrigado por tudo professor!

Aos componentes da banca,

Aos professores, **Dr. Aldieris Alves Pesqueira**, **Dr. Marcelo Coelho Goiato**, **Dr. Victor Eduardo de Souza Batista** e **Dr. Cleidiel Aparecido Araujo Lemos**, agradeço pelo privilégio de tê-los como representantes da banca examinadora em minha defesa de doutorado, principalmente por serem profissionais admiráveis e competentes. Obrigado por disponibilizarem um pouco do seu tempo, para estarem na finalização de uma etapa importante em minha vida. Muito obrigado.

Grupo de Pesquisa

Ao meu grupo de trabalho, a doutoranda **Jessica Marcela de Luna Gomes**, ao mestrando **João Pedro Limírio**, mestre **Lurian Minatel**, ao Prof. Dr. **Joel Ferreira Santiago Júnior**, ao Prof. Dr. **Daniel Augusto de Faria Almeida**, ao mestre **Leandro Rahal Mestrener**, ao mestrando **Cleber Davi Del Rei Daltro Rosa** e a mestranda **Fernanda Costa Yogui**, não tenho palavras para agradecer a vocês pelo aprendizado diário, companheirismo, amizade e carinho, sem dúvida a presença de vocês foi essencial para a realização deste sonho. Muito obrigado a todos!

Em especial gostaria de agradecer a doutoranda **Hiskell Francine Fernandes e Oliveira**, muito obrigado pelo companheirismo, amizade e apoio no decorrer da minha trajetória acadêmica. Você é uma pessoa muito especial, desejo a você muito sucesso em sua carreira e na sua vida, estarei sempre a disposição. Obrigado por tudo.

Ao amigo **Victor Eduardo de Souza Batista**, muito obrigado por todo ensinamento e pela ajuda no decorrer dessa caminhada, aprendi muito com você, obrigado pelas risadas, brincadeiras e pelos conselhos. Desejo todo o sucesso do mundo para você. Muito obrigado pela amizade!

Ao amigo **Cleidiel Aparecido Araujo Lemos**, muito obrigado por me incentivar, por ter ouvido minhas reclamações na pós-graduação, por me aconselhar, pelos ensinamentos, fazer a minha estadia em aracaçatuba menos difícil, porque, nos momentos de dificuldade, sempre esteve disposto a me ajudar, agradeço do fundo do coração. Amigo desejo que você sempre realize seus sonhos, sempre que precisar conte comigo. Aproveito a oportunidade para estender os meus agradecimentos à sua noiva **Dr. Daniele Sorgatto Faé**, por toda paciência, pelos conselhos, pelas risadas, pela amizade e por ser gentil e solícita comigo. Gostaria de expressar minha gratidão ao casal, por todos os momentos vividos com vocês,

foram momentos muito felizes, que sempre guardarei comigo e quando precisarem estarei a disposição. Muito obrigado!!

Aos meus amigos, **Christine Men Martins, Luiz Felipe Pupim e Renan Dal Fabbro** pela convivência e pelos momentos alegres que passamos juntos. Muito obrigado pelo companheirismo e amizade. E aos demais amigos de pós-graduação, meus sinceros agradecimentos por todos os momentos compartilhados ao longo dessa trajetória

Aos docentes,

Aos professores, **Humberto Gennari Filho, Paulo Renato Junqueira Zuim, Aimee Maria Guiotti, Karina Helga, Stefan Dekon, Débora Barbosa, Adriana Zavanelli, José Vitor Mazaro e Daniela Micheline dos Santos**, que diretamente ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento da minha formação, agradeço pelo carinho, atenção, amizade e convívio por esses anos todos.

Agradecimientos

À Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, na pessoa de seu Diretor, Professor Titular Glauco Issamu Miyahara e de seu vice-diretor, Professor Titular Alberto Carlos Botazzo Delbem pela oportunidade da realização do Curso de Doutorado em ciências Odontológica.

À Fundação CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo financiamento parcial desta pesquisa na modalidade de bolsa de Doutorado pelo período de 9 meses.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo financiamento e apoio designado ao projeto de pesquisa através da concessão da bolsa de Doutorado (Processo Nº 2017/03744-1) de 01 de janeiro de 2018 até o final deste processo de doutorado.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência Odontológica da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP, na pessoa do Prof. Adj. Luciano Tavares Angelo Cintra, e a todos os membros do conselho pela brilhante condução sempre buscando o melhor ao nosso programa e assim permitir a realização de trabalhos importantes. Agradecer pela oportunidade de fazer parte do conselho de pós-graduação, o qual contribuí para o meu crescimento profissional.

À Valéria, Cristiane e Lilian da Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Araçatuba-UNESP.

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.

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

Epígrafe

*Sem sonhos, as perdas se tornam insuportáveis, as pedras do
caminho se tornam montanhas, os fracassos se transformam em
golpes fatais. Mas, se você tiver grandes sonhos. Seus erros
produzirão crescimento, seus desafios produzirão oportunidades, seus
medos produzirão coragem. Por isso, meu ardente desejo é que você
Nunca desista de seus sonhos.*

Augusto Cury

Resumo geral

RESUMO GERAL

CRUZ, R. S. **Análise biomecânica envolvendo implantes estreitos para reabilitações unitárias na região maxilar anterior.** 2020. Tese (Doutorado em Ciência Odontológica, área de concentração Biomateriais) – Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba 2020.

Proposição: Avaliar biomecanicamente a possibilidade de uso de implantes de diâmetro reduzido em reabilitações unitárias em região maxilar anterior. Foram avaliados biomecanicamente o uso de implantes de diâmetro 2,9 mm com implantes de 3,5 mm instalados a nível ósseo e 1,5 mm infraósseo, variando-se o comprimento dos implantes (7 mm, 8,5 mm, 10 mm, 11,5 mm, 13 mm e 15 mm), por meio da análise dos elementos finitos 3D.

Material e métodos: 12 modelos tridimensionais foram simulados com ajuda dos programas Invesalious, Rhinoceros 3D e SolidWorks. Cada modelo possuía um bloco ósseo da região anterior maxilar (osso tipo III) com a presença dos dentes incisivo central e canino, simulando uma reabilitação com coroa unitária metal free cimentada (dente incisivo lateral direito), suportada por um implante de 7 mm, 8,5 mm, 10 mm, 11,5 mm, 13 mm ou 15 mm, variando-se o diâmetro do implante (2,9 mm e 3,5 mm) e a instalação dos implantes no tecido ósseo (ao nível e 1,5 mm infraósseo). Os modelos foram processados pelos programas ANSYS 19.2, utilizando uma força de 178 N em diferentes inclinações (0°, 30° e 60°). Os resultados foram plotados em mapas de Tensão de Von Mises (VM), Tensão Máxima Principal (TMP), Microdeformação ($\mu\epsilon$) e Deslocamento.

Resultados: Na análise de VM houve um aumento da concentração de tensão com o aumento da inclinação da força nos implantes/componentes e tecido ósseo. Foi possível observar maiores concentrações de tensões para os implantes instalados 1,5 mm infraósseo, além disso, os implantes de 2,9 mm de diâmetro apresentaram maiores concentrações de tensões. Sob análise de TMP e $\mu\epsilon$,

o tecido ósseo apresentou maiores concentrações de tensões de tração e microdeformação sob cargas oblíquas (30° e 60°) ao redor do pescoço do implante (tecido ósseo cortical) na técnica de instalação ao infraósseo, além disso, foi possível observar que os implante menor diâmetro apresentaram maiores concentrações de tensões nos implantes/componentes e tecido ósseo e menor tendência de deslocamento na técnica de instalação ao nível ósseo.

Conclusão: Os implantes de 3,5 mm de diâmetro foram mais favoráveis biomecanicamente que os implante de 2,5 mm, independentemente do tipo de técnica de instalação utilizadas. A instalação de implantes por técnica ao nível ósseo nas condições do estudo, favoreceu uma diminuição de concentração de tensões no tecido ósseo adjacente ao implante.

Palavras chaves: Prótese dentária; Implante dentário; Análise de elementos finitos.

ABSTRACT

CRUZ, R. S. **Biomechanical analysis involving narrow implants for unitary rehabilitation in the anterior maxillary region.** 2020. Thesis (doctor in Dental Science, Biomaterials concentration area) - Faculty of Dentistry of Araçatuba, Paulista State University, Araçatuba 2020.

Proposition: Biomechanically evaluate the possibility of using small diameter implants in unitary rehabilitation in the anterior maxillary region. Biomechanically evaluated the use of 2.9 mm diameter implants with 3.5 mm implants placement at bone level and 1.5 mm subcrestal, through 3D finite element analysis.

Material and methods: 12 three-dimensional models were simulated with the help of the Invesalious, Rhinoceros 3D and SolidWorks programs. Each model had a bone block from the anterior maxillary region (type III bone) with the presence of the central and canine incisor teeth, simulating a rehabilitation with a cemented metal free unitary crown (right lateral incisor tooth), supported by implant the 7 mm, 8,5 mm, 10 mm, 11.5 mm, 13 mm or 15 mm, varying the implant diameter (2.9 mm and 3.5 mm), the placement of the implants in the bone tissue at level 1, 5 mm subcrestal. The models were processed by the ANSYS 19.2 programs, using a force of 178 N at different slopes (0°, 30° and 60°). The results were plotted on Von Mises Stress (VM), Maximum Main Stress (TMP), Microdeformation ($\mu\epsilon$) and Displacement.

Results: In the analysis of VM there was an increase in the concentration of tension with the increase of the inclination of the force in the implants/components and bone tissue. It was possible to observe higher concentrations of stresses for the implants installed in the subcrestal, in addition, the implants of 2.9 mm in diameter presented higher concentrations of stresses. Under analysis of TMP and $\mu\epsilon$, the bone tissue showed higher concentrations of tensile stresses and microdeformation under oblique loads (30° and 60°) around the implant neck (cortical bone tissue) in the placement the technique at the subcrestal, in addition , it was possible to observe that the

smaller diameter implants showed higher concentrations of stress in the implants/components and bone tissue and and less tendency of displacement in the installation technique at the bone level.

Conclusion: The 3.5 mm diameter implants were more favorable biomechanically than the 2.5 mm implants, regardless of the type of placement the technique used. The placement of implants by crestal technique under the conditions of the study, favored a decrease of stress concentration in the bone tissue adjacent to the implant.

Keywords: Dental prosthesis; Dental implants; Finite element analysis

Listas e Sumário

Lista de Figuras

Capítulo 1

- Figure. 1 -** Schematic models simulated in this study. 36
- Figure 2 -** Displacement Maps, Implants/abutmen/prosthetic components and bone tissues (cortical and trabecular), loading 0°, 30° and 60°, lateral view. (M1= Placement crestal Ø 2,9x7 mm; M2= Placement crestal Ø 2,9x10 mm; M3= Placement crestal Ø 2,9x13 mm; M4= Placement subcrestal Ø 2,9x7 mm; M5= Placement subcrestal Ø 2,9x10 mm and M6= Placement subcrestal Ø 2,9x13 mm). 40
- Figure 3 -** Von Mises stress maps, prosthetic components and implants, loading 0°, 30° and 60°, lateral view. (M1= Placement crestal Ø 2,9x7 mm; M2= Placement crestal Ø 2,9x10 mm; M3= Placement crestal Ø 2,9x13 mm; M4= Placement subcrestal Ø 2,9x7 mm; M5= Placement subcrestal Ø 2,9x10 mm and M6= Placement subcrestal Ø 2,9x13 mm). 42
- Figure 4 -** Maximum principal stress maps, cortical and trabecular bone, loading 0°, 30° and 60°, lateral view. (M1= Placement crestal Ø 2,9x7 mm; M2= Placement crestal Ø 2,9x10 mm; M3= Placement crestal Ø 2,9x13 mm; M4= Placement subcrestal Ø 2,9x7 mm; M5= Placement subcrestal Ø 2,9x10 mm and M6= Placement subcrestal Ø 2,9x13 mm). 44
- Figure 5 -** Microdeformation maps, cortical and trabecular bone, loading 0°, 30° and 60°, lateral view. (M1= Placement crestal Ø 2,9x7 mm; M2= Placement crestal Ø 2,9x10 mm; M3= Placement crestal Ø 2,9x13 mm; M4= Placement subcrestal Ø 2,9x7 mm; M5= Placement subcrestal Ø 2,9x10 mm and M6= Placement subcrestal Ø 2,9x13 mm). 47

Lista de Figuras

Capítulo 2

- Figure 1 -** Schematic models simulated in this study; a) Schematic view of structures b) Cortical bone; c) Trabecular bone; d) Periodontal Ligament; e) Canine; f) Central incisor; g) Implant Ø 3,5mm; h) Implant Ø 2,9mm; i) Abutment; j) Resin cement; l) Crown. 63
- Figure 2 -** –Von Mises stress maps, prosthetic components and implants, loading 0°, 30° and 60°, lateral view. (M1= Ø 2,9x 8,5mm; M2= Ø 2,9x 11,5mm; M3= Ø 2,9x 15mm; M4= Ø 3,5x 8,5mm; M5= Ø 3,5x 11,5mm and M6= Ø 3,5x 15mm) 67
- Figure 3 -** Graphs with values of Von Mises stress maps, loading 0°, 30° and 60°. A) Values of the general model; B) Values of implant values; C) Values of abutment values. (M1= Ø 2,9x 8,5mm; M2= Ø 2,9x 11,5mm; M3= Ø 2,9x 15mm; M4= Ø 3,5x 8,5mm; M5= Ø 3,5x 11,5mm and M6= Ø 3,5x 15mm) 68
- Figure 4 -** Maximum principal stress maps, cortical and trabecular bone, loading 0°, 30° and 60°, occlusal view. (M1= Ø 2,9x 8,5mm; M2= Ø 2,9x 11,5mm; M3= Ø 2,9x 15mm; M4= Ø 3,5x 8,5mm; M5= Ø 3,5x 11,5mm and M6= Ø 3,5x 15mm) 70
- Figure 5 -** Maximum principal stress maps, cortical and trabecular bone, loading 0°, 30° and 60°, lateral view. (M1= Ø 2,9x 8,5mm; M2= Ø 2,9x 11,5mm; M3= Ø 2,9x 15mm; M4= Ø 3,5x 8,5mm; M5= Ø 3,5x 11,5mm and M6= Ø 3,5x 15mm) 71
- Figure 6 -** Graphs with values of Maximum principal stress maps (tensile and compressive), loading 0°, 30° and 60°. A) cortical bone tensile stress values; B) Trabecular bone tensile stress values; C) cortical bone compressive stress values; B) Trabecular bone compressive stress values. (M1= Ø 2,9x 8,5mm; M2= Ø 2,9x 72

11,5mm; M3= Ø 2,9x 15mm; M4= Ø 3,5x 8,5mm; M5= Ø 3,5x 11,5mm and M6= Ø 3,5x 15mm)

Figure 7 - Microdeformation maps, cortical and trabecular bone, loading 0°, 30° and 60°, occlusal view. (M1= Ø 2,9x 8,5mm; M2= Ø 2,9x 11,5mm; M3= Ø 2,9x 15mm; M4= Ø 3,5x 8,5mm; M5= Ø 3,5x 11,5mm and M6= Ø 3,5x 15mm). 74

Figure 8 - Microdeformation maps, cortical and trabecular bone, loading 0°, 30° and 60°, lateral view. (M1= Ø 2,9x 8,5mm; M2= Ø 2,9x 11,5mm; M3= Ø 2,9x 15mm; M4= Ø 3,5x 8,5mm; M5= Ø 3,5x 11,5mm and M6= Ø 3,5x 15mm). 75

Figure 9 - Graphs with values of Microdeformation maps, loading 0°, 30° and 60°. A) Values in the cortical bone B) Values in the trabecular bone. (M1= Ø 2,9x 8,5mm; M2= Ø 2,9x 11,5mm; M3= Ø 2,9x 15mm; M4= Ø 3,5x 8,5mm; M5= Ø 3,5x 11,5mm and M6= Ø 3,5x 15mm) 76

Lista Tabela

Capítulo 1

Table 1-	Models used	38
Table 2 -	Properties of materials modeled	39
Table 3 -	Displacement values of all models (mm). (M1= Placement crestal Ø 2,9x7 mm; M2= Placement crestal Ø 2,9x10 mm; M3= Placement crestal Ø 2,9x13 mm; M4= Placement subcrestal Ø 2,9x7 mm; M5= Placement subcrestal Ø 2,9x10 mm and M6= Placement subcrestal Ø 2,9x13 mm).	41
Table 4-	Von Mises stress values of implant and abutmen (Mpa). (M1= Placement crestal Ø 2,9x7 mm; M2= Placement crestal Ø 2,9x10 mm; M3= Placement crestal Ø 2,9x13 mm; M4= Placement subcrestal Ø 2,9x7 mm; M5= Placement subcrestal Ø 2,9x10 mm and M6= Placement subcrestal Ø 2,9x13 mm).	43
Table 5 -	Maximum principal stress values of cortical and trabecular bone, Tensile stress (positive values) and Compression stresses (negative values) (Mpa). (M1= Placement crestal Ø 2,9x7 mm; M2= Placement crestal Ø 2,9x10 mm; M3= Placement crestal Ø 2,9x13 mm; M4= Placement subcrestal Ø 2,9x7 mm; M5= Placement subcrestal Ø 2,9x10 mm and M6= Placement subcrestal Ø 2,9x13 mm).	45
Table 6 -	Microstrain values of cortical and trabecular bone (µε). (M1= Placement crestal Ø 2,9x7 mm; M2= Placement crestal Ø 2,9x10 mm; M3= Placement crestal Ø 2,9x13 mm; M4= Placement subcrestal Ø 2,9x7 mm; M5=	48

Placement subcrestal Ø 2,9x10 mm and M6=
Placement subcrestal Ø 2,9x13 mm).

Capítulo 2

Table 1-	Specifications of the models.	64
Table 2-	Properties of materials modeled	65

Lista de Abreviaturas e Siglas

N	-	Newton
Mpa	-	Mega Pascal
μϵ	-	Microstrain
mm	-	Millimeters
3D	-	Three-dimensional
MP	-	Maximum principal stress
VM	-	Von mises stress
RDI s	-	Regular-diameter implants
NDI s	-	Narrow-diameter implants
WDI	-	Wide-dental diameter
IC	-	Internal connections
EC	-	External connections
Ø	-	Diameter

Sumário

1.	Introdução geral.....	26
	CAPÍTULO 1 – Biomechanical influence of narrow-diameter implants placed at the crestal	
2.	and subcrestal level in maxillary anterior region. A 3D finite element analysis.....	32
2.1.	Abstract.....	32
2.2.	Introduction.....	34
2.3.	Material and methods.....	35
2.4.	Results.....	39
2.4.1.	Analysis of general displacement maps.....	39
2.4.2.	Von Mises stress (Implant/ Prosthetic components).....	41
2.4.3.	Maximum principal stress (Bone tissue).....	43
2.4.4.	Analysis of microstrain ($\mu\epsilon$) (bone tissue).....	46
2.5.	Discussion.....	48
2.6.	Conclusion.....	50
2.7.	References	51
	CAPÍTULO 2 - Influence of narrow diameter implants in single-implant restoration placed in	
3.	the anterior region of the maxillary. A three-dimensional finite element analysis.....	59
3.1.	Abstract.....	59
3.2.	Introduction.....	60
3.3.	Material and methods.....	62
3.4.	Results.....	66
3.4.1.	Von Mises stress – dental implant and prosthetic abutment.....	66
3.4.2.	Maximum principal stress – bone tissue.....	69
3.4.3.	Microstrain ($\mu\epsilon$) – bone tissue.....	73

3.5.	Discussion.....	77
3.6.	Conclusion.....	81
3.7	References.....	81
4.	Anexo A – Referências da introdução geral.....	91
5.	Anexo B- Normas da revista selecionada para a publicação dos artigos.....	96

Introdução Geral

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os implantes dentários tornaram-se uma opção com alta previsibilidade clínica para reabilitações protéticas, inclusive na região anterior da maxila (Ioannidis et al., 2015; Tolentino et al., 2015; Anitua et al., 2016; King et al., 2016). No entanto, muitas vezes essa região se apresenta com pouca quantidade óssea, tanto vestibulo-lingual quanto mesio-distal devido à reabsorção fisiológica alveolar.

Clinicamente na região anterior maxilar, principalmente na área de interesse desse estudo (incisivos laterais), algumas vezes verifica-se uma disponibilidade óssea mesio-distal inferior a 6 mm, e vestibulo-lingual inferior a 5 mm (Tarnow et al., 2000; Jung et al., 2012; Anitua et al., 2016). Assim, muitas vezes a opção para reabilitação de pacientes nessas situações acaba sendo a instalação de implantes de diâmetro reduzido (Ioannidis et al., 2015; King et al., 2016). Biomecanicamente, as variações nas dimensões dos implantes são de grande importância, visto que, podem contribuir no aumento das tensões tanto para os implantes/componentes, bem como para a região de tecido ósseo (Himmlová et al., 2004; Pellizzer et al., 2013). Dessa forma, estudos que avaliem o comportamento biomecânico dessas dimensões frente a diferentes variáveis é de interesse, uma vez que uma possível sobrecarga oclusal poderia afetar a longevidade da reabilitação (Himmlová et al., 2004; Fu et al., 2012; Pellizzer et al., 2012).

Diversos estudos que analisaram o diâmetro dos implantes sugerem que quanto menor o diâmetro maior a transferência de carga oclusal para o tecido ósseo, principalmente sob cargas oblíquas (Himmlová et al., 2004; Qian et al., 2009; Chang et al., 2012; Pellizzer et al., 2013; Santiago Junior et al., 2013). Entretanto, tais estudos consideraram a influência do diâmetro em região posterior e para implantes de diâmetro regular (3,75 mm) x largo diâmetro (5,00 mm). Além disso, a espessura da tábua óssea pode ser considerada outra característica que pode influenciar na distribuição de tensões (Alikhasi et al., 2014). Infelizmente, estudos clínicos randomizados considerando este fator na região anterior maxilar ainda são poucos, embora relatem resultados

promissores em relação a manutenção de tecido ósseo ao redor do implante, com poucas perdas de implantes (King et al., 2016). Diante disso, ainda não existe um consenso da influência biomecânica de implantes diâmetro estreito ≤ 3.75 mm (Javed et al. 2015) na região anterior de maxila.

Porém, com a diminuição do diâmetro do implante ocorre a redução da área de contato osso-implante, proporcionado menor área de superfície, podendo comprometer a osseointegração (Ivanoff et al 1997). Dessa forma, uma alternativa para aumentar a superfície de contato osso-implante poderia ser através da instalação de implantes de maiores comprimentos (Baggi et al., 2008; Pellizzer et al., 2015; Bataineh et al., 2017) Além disso, pode ser encontrado na literatura que a utilização de implantes de maiores comprimentos em situações de implantes de diâmetro reduzido pode ser eficaz no sentido de reduzir os riscos de complicações, bem como aumentar a taxa de sobrevivência dos implantes (Lemos et al., 2016).

A região anterior da maxila, quando apresenta elevada quantidade de tecido ósseo, permite a instalação de implantes de maiores comprimentos (Wakimoto et al., 2012; Lee et al., 2013). Entretanto, não existe concordância a respeito da biomecânica do comprimento dos implantes na literatura nesta região. Podem ser observados estudos que apresentam influência direta do comprimento do implante na distribuição das tensões, (Lee et al., 2013; Pellizzer et al., 2015; Sotto-Maior et al., 2015) mas também estudos que relatam não ser o comprimento influente nas distribuições das tensões (Kim et al., 2014; Sotto-Maior et al., 2016). Assim, a avaliação do comprimento em associação com fatores previamente citados, principalmente a espessura da tábua óssea, pode ser de grande interesse para nortear um tratamento com implantes na região anterior da maxila.

A literatura mostra comportamento biomecânico mais favorável para a distribuição de tensões para as conexões internas quando comparadas a conexões de hexágono externo (de Faria

Almeida et al., 2014; Torcato et al., 2015; Santiago et al., 2016). Diante disso, a utilização de implantes de conexão interna cônica, como os implantes cone Morse, tem aumentado com grande frequência para reabilitação em regiões anteriores (Mangano et al., 2012; Bidra et al., 2013). Como existe um aumento na estabilidade interna dos implantes cone Morse, com redução da micromovimentação (de Faria Almeida et al., 2014; Santaigo et al., 2016), esse fator poderia amenizar as diferenças entre as dimensões dos implantes, aumentando assim as indicações desses implantes em reabilitações implantossuportadas, além do fator periodontal que é superior aos implantes de hexágono externo.

Os implantes cones Morse podem ser instalados ao nível ósseo ou abaixo desse. A indicação de instalação a nível infraósseo tem sido feita com o intuito de se aumentar os valores de preservação do tecido ósseo (Castro et al., 2014; Fetner et al., 2015). Entretanto, existem situações clínicas em que devido a disponibilidade óssea e proximidade com estruturas anatômicas, como nesse caso a fossa nasal, poderia haver limitação para a instalação desses implantes, sendo necessário ou utilização de implantes mais curtos ou a instalação a nível do tecido ósseo ou ainda alguma técnica mais complexa de expansão óssea (levantamento de assoalho nasal) (Garcia-Denche et al., 2015; Lemos et al., 2016). Ainda são escassos estudos biomecânicos comparando a influência do nível ósseo em relação a distribuição das tensões nos implantes/componentes e tecido ósseo. Assim, essa avaliação se faz necessária principalmente na região anterior, visto que, a preservação óssea está diretamente relacionada com a manutenção tecidual e sucesso estético do tratamento reabilitador (Mangano et al., 2012; Mangano et al., 2013).

Atualmente há várias metodologias que podem ser utilizadas para estudar a biomecânica de forma estática, como a extensiometria, fotoelasticidade, imagem de correlação digital e elementos finitos. A metodologia de elementos finitos é definida como uma simulação numérica que determina a tensão e deformação através de modelos de estruturas geométricas complexas, como implante dentário, componentes protéticos e tecido ósseo (Verri et al., 2014). Este modelo

permite a simulação de aplicação de carga em pontos específicos e fornece mapas de tensão e deformação transmitidas nas estruturas circundantes, no qual, as estruturas podem ser analisadas separadamente (Akça & Iplikçioğlu, 2001, de Faria Almeida et al., 2014). Desta forma, dados destes estudos já têm sido indicados como passíveis de melhorar o entendimento biomecânico de diversos materiais utilizados em odontologia e, em seguida, cuidadosamente terem seus resultados extrapolados para a clínica diária (Van Staden et al., 2006), ou mesmo de prever pontos críticos passíveis de falha mecânica nos implantes ou componentes protéticos.

Assim, no presente estudo, 2 capítulos foram elaborados com o intuito de analisar biomecanicamente as reabilitações unitárias implantesuportadas na região anterior, através da metodologia de elementos finitos 3D, buscando respostas quanto à variação da profundidade de instalação de implantes e quanto as dimensões dos implantes utilizados nesta região.

4. ANEXO A– Referências da Introdução Geral

REFERÊNCIAS

Akça K, Iplikçiöğlu H. Finite element stress analysis of the influence of staggered versus straight placement of dental implants. *Int J. Oral Maxillofac. Implants*. 2001. 16, 722-730

Alikhasi M, Siadat H, Geramy A, Hassan-Ahangari A. Stress distribution around maxillary anterior implants as a factor of labial bone thickness and occlusal load angles: a 3-dimensional finite element analysis. *J Oral Implantol*. 2014 Feb;40(1):37-41. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-10-00198. Epub 2011 Jul 25.

Anitua E, Saracho J, Begoña L, Alkhraisat MH. Long-Term Follow-Up of 2.5 - mm Narrow-Diameter Implants Supporting a Fixed Prosthesis. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2016 Aug;18(4):769-77. doi: 10.1111/cid.12350. Epub 2015 Apr 27.

Baggi L, Cappelloni I, Di Girolamo M, Maceri F, Vairo G. The influence of implant diameter and length on stress distribution of osseointegrated implants related to crestal bone geometry: a three-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent*. 2008 Dec;100(6):422-31. doi: 10.1016/S0022-3913(08)60259-0.

Bataineh AB, Al-Dakes AM. The influence of length of implant on primary stability: An in vitro study using resonance frequency analysis. *J Clin Exp Dent*. 2017 Jan 1;9(1):e1-e6. doi: 10.4317/jced.53302. eCollection 2017 Jan.

Bidra AS, Rungruangnunt P. Clinical outcomes of implant abutments in the anterior region: a systematic review. *J Esthet Restor Dent*. 2013 Jun;25(3):159-76. doi: 10.1111/jerd.12031. Epub 2013 May 3.

Castro DS, Araujo MA, Benfatti CA, Araujo Cdos R, Piattelli A, Perrotti V, Iezzi G. Comparative histological and histomorphometrical evaluation of marginal bone resorption around external hexagon and Morse cone implants: an experimental study in dogs. *Implant Dent* 23(3) (2014) 270-6.

Chang SH, Lin CL, Hsue SS, Lin YS, Huang SR. Biomechanical analysis of the effects of implant diameter and bone quality in short implants placed in the atrophic posterior maxilla. *Med Eng Phys*. 2012 Mar;34(2):153-60. doi: 10.1016/j.medengphy.2011.07.005. Epub 2011 Jul 31

de Faria Almeida DA, Pellizzer EP, Verri FR, Santiago JF Jr, de Carvalho PS. Influence of tapered and external hexagon connections on bone stresses around tilted dental implants: three-dimensional finite element

method with statistical analysis. *J Periodontol*. 2014 Feb;85(2):261-9. doi:10.1902/jop.2013.120713. Epub 2013 May 20.

Fetner M, Fetner A, Koutouzis T, Clozza E, Tovar N, Sarendranath A, Coelho PG., Neiva K, Janal MN, Neiva R, The Effects of Subcrestal Implant Placement on Crestal Bone Levels and Bone-to-Abutment Contact: A Microcomputed Tomographic and Histologic Study in Dogs, *Int J Oral Maxillofac Implants* 30(5) (2015) 1068-75.

Fu JH, Hsu YT, Wang HL. Identifying occlusal overload and how to deal with it to avoid marginal bone loss around implants. *Eur J Oral Implantol*. 2012. 5 Suppl, S91-103

Garcia-Denche JT, Abbushi A, Hernández G, Fernández-Tresguerres I, Lopez-Cabarcos, Tamimi F. Nasal Floor Elevation for Implant Treatment in the Atrophic Premaxilla: A Within-Patient Comparative Study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2015 Oct;17 Suppl 2:e520-30. doi: 10.1111/cid.12281. Epub 2014 Oct 27.

Himmlová L, Dostalova T, Kacovsky A, Konvickova S. Influence of implant length and diameter on stress distribution: a finite element analysis. *J Prosthet Dent*. 2004. 91, 20-25

Ioannidis A, Gallucci GO, Jung RE, Borzangy S, Hämmerle CH, Benic GI. Titanium-zirconium narrow-diameter versus titanium regular-diameter implants for anterior and premolar single crowns: 3-year results of a randomized controlled clinical study. *J Clin Periodontol*. 2015 Nov;42(11):1060-70. doi: 10.1111/jcpe.12468. Epub 2015 Nov 14.

Ivanoff CJ, Sennerby L, Johansson C, Rangert B, Lekholm U. Influence of implant diameters on the integration of screw implants. An experimental study in rabbits. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1997; 26:141–148.

Javed F, Romanos GE. Role of implant diameter on long-term survival of dental implants placed in posterior maxilla: a systematic review. *Clin Oral Investig*. 2015 Jan;19(1):1-10. doi: 10.1007/s00784-014-1333-z. Epub 2014 Nov 1.

Jung RE, Zembic A, Pjetursson BE, Zwahlen M, Thoma DS. Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean follow-up of 5 years. *Clin Oral Implants Res*. 2012 Oct;23 Suppl 6:2-21. doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02547.x

King P, Maiorana C, Luthardt RG, Sondell K, Øland J, Galindo-Moreno P, Nilsson P. Clinical and Radiographic Evaluation of a Small-Diameter Dental Implant Used for the Restoration of Patients with Permanent Tooth Agenesis (Hypodontia) in the Maxillary Lateral Incisor and Mandibular Incisor Regions: A 36-Month Follow-Up. *Int J Prosthodont*. 2016 MarApr;29(2):147-53. doi: 10.11607/ijp.4444.

Lee JS, Lim YJ. Three-dimensional numerical simulation of stress induced by different lengths of osseointegrated implants in the anterior maxilla. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2013;16(11):1143-9. doi: 10.1080/10255842.2012.654780. Epub 2012 Mar 8.

Lemos CA, Ferro-Alves ML, Okamoto R, Mendonça MR, Pellizzer EP. Short dental implants versus standard dental implants placed in the posterior jaws: A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2016 Apr;47:8-17. doi: 10.1016/j.jdent.2016.01.005. Epub 2016 Jan 19.

Lemos CA, Verri FR, Batista VE, Júnior JF, Mello CC, Pellizzer EP. Complete overdentures retained by mini implants: A systematic review. *J Dent*. 2017 Feb;57:4-13. doi: 10.1016/j.jdent.2016.11.009. Epub 2016 Nov 22

Mangano C, Levrini L, Mangano A, Mangano F, Macchi A, Caprioglio A. Esthetic evaluation of implants placed after orthodontic treatment in patients with congenitally missing lateral incisors. *J Esthet Restor Dent*. 2014 Jan-Feb;26(1):61-71. doi: 10.1111/jerd.12081. Epub 2013 Dec 17.

Mangano F, Mangano C, Ricci M, Sammons RL, Shibli JA, Piattelli A. Single-tooth Morse taper connection implants placed in fresh extraction sockets of the anteriormaxilla: an aesthetic evaluation. *Clin Oral Implants Res*. 2012 Nov;23(11):1302-7. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02307.x. Epub 2011 Sep 30.

Pellizzer EP, de Mello CC, Santiago Junior JF, de Souza Batista VE, de Faria Almeida DA, Verri FR. Analysis of the biomechanical behavior of short implants: The photo-elasticity method. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 2015; 55:187-92

Pellizzer EP, Verri FR, de Moraes SL, Falcon-Antenucci RM, de Carvalho PS, Noritomi, PY. Influence of the implant diameter with different sizes of hexagon: analysis by 3-dimensional finite element method. *J Oral Implantol*. 2013. 39, 425-431.

Pellizzer EP, Verri FR, Falcon-Antenucci RM, Junior JF, de Carvalho PS, de Moraes SL, Noritomi PY. Stress analysis in platformswitching implants: a 3-dimensional finite element study. *J Oral Implantol*. 2012. 38, 587-594.

Qian L, Todo M, Matsushita Y, Koyano K. Effects of implant diameter, insertion depth, and loading angle on stress/strain fields in implant/jawbone systems: finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009 SepOct;24(5):877-86.

Santiago JFJ, de Souza Batista VE, Verri FR, Honorio HM, de Mello CC, Almeida DA, Pellizzer EP. Platform-switching implants and bone preservation: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2016 Mar;45(3):332-345. doi: 10.1016/j.ijom.2015.11.009. Epub 2015 Dec 23.

Santiago Junior JF, Pellizzer EP, Verri FR, de Carvalho PS. Stress analysis in bone tissue around single implants with different diameters and veneering materials: a 3-D finite element study. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2013 Dec 1;33(8):4700-14. doi: 10.1016/j.msec.2013.07.027. Epub 2013 Jul 26

Sotto-Maior BS, Mercuri EG, Senna PM, Assis NM, Francischone CE, Del Bel Cury AA. Evaluation of bone remodeling around single dental implants of different lengths: a mechanobiological numerical simulation and validation using clinical data. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2016;19(7):699-706. doi: 10.1080/10255842.2015.1052418. Epub 2015 Aug 7.

Sotto-Maior BS, Senna PM, Silva-Neto JP, de Arruda Nobilo MA, Cury AA, and Influence of crown-to-implant ratio on stress around single short-wide implants: a photoelastic stress analysis, *J. Prosthodont* 2015; 52–56.

Tarnow DP, Cho SC, Wallace SS. The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest. *J Periodontol*. 2000 Apr;71(4):546-9

Tolentino L, Sukekava F, Garcez-Filho J, Tormena M, Lima LA, Araújo MG. One-year follow-up of titanium/zirconium alloy X commercially pure titanium narrow-diameter implants placed in the molar region of the mandible: a randomized controlled trial. *Clin Oral Implants Res*. 2015 Feb 18. doi: 10.1111/clr.12561. [Epub ahead of print]

Torcatto LB, Pellizzer EP, Verri FR, Falcón-Antenucci RM, Santiago Júnior JF, de Faria Almeida DA. Influence of parafunctional loading and prosthetic connection on stress distribution: A 3D finite element analysis. *J Prosthet Dent*. 2015 Nov;114(5):644-51. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.04.018. Epub 2015 Jul 14.

Van Staden RC, Guan H, Loo YC. Application of the finite element method in dental implant research. *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin*. 2006. 9, 257-270

Verri FR, Batista VE, Santiago JF Jr, Almeida DA, Pellizzer EP .Effect of crown-to-implant ratio on peri-implant stress: a finite element analysis. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2014 Dec;45:234-40. doi: 10.1016/j.msec.2014.09.005. Epub 2014 Sep 16.

Wakimoto M, Matsumura T, Ueno T, Mizukawa N, Yanagi Y, Iida S. Bone quality and quantity of the anterior maxillary trabecular bone in dental implant sites. *Clin Oral Implants Res*. 2012 Nov;23(11):1314-9. doi: 10.1111/j.1600-0501.2011.02347.x. Epub 2011 Dec 12.