

AVALIAÇÃO ULTRA-ESTRUTURAL, DIMENSIONAL E MECÂNICA DE DOIS SISTEMAS DE FIXAÇÃO INTERNA RÍGIDA DE 2 MM

Ultra-structural Dimensional and Mechanical Evaluation of two 2mm systems of Internal Rigid Fixation

Hernando Valentim da Rocha Júnior¹
Luis Eduardo Marques Padovan²
Rogerio Belle de Oliveira³
Diogo Souza Ferreira Rubim de Assis⁴
Marco Antonio Hungaro Duarte⁵

¹Especialista, mestre e doutorando em Cirurgia Buco-Maxilo-Facial, Universidade do Sagrado Coração, Bauru, SP, Brasil.

²Mestre e Doutor em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial, UNESP, Aracatuba, SP, Brasil; Professor Assistente da Disciplina de Cirurgia da Universidade Sagrado Coração, Bauru, SP, Brasil; Professor Doutor do Curso de Mestrado e Doutorado em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial da Universidade Sagrado Coração, Bauru, SP, Brasil.

³Departamento de Cirurgia Buco-Maxilofacial, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

⁴Especialista, Mestre e Doutor em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial, USC, Bauru, SP, Brasil; Professor do Curso de Odontologia (Anatomia de Cabeça e Pescoço), Instituto Florence Ensino Superior, São Luis, MA, Brasil.

⁵Mestre e Doutor em Endodontia; Professor Associado em Dentística, Endodontia e Materiais dentários da Universidade de São Paulo, USP, Bauru.

Recebido em: 12/04/2012

Aceito em: 05/06/2013

ROCHA JÚNIOR, Valenteim da *et al.* Avaliação ultra-estrutural, dimensional e mecânica de dois sistemas de fixação interna rígida de 2mm. *SALUSVITA*, Bauru, v. 32, n. 2, p. 125-137, 2013.

RESUMO

Introdução e objetivo: este trabalho teve como objetivo comparar dois materiais de fixação interna rígida utilizados em cirurgia maxilo-facial, sob o ponto de vista ultra-estrutural, dimensional e mecânico. **Materiais e Métodos:** foram comparadas amostras de miniplacas de 2.0mm Neoortho[®] e Synthes[®]. As amostras foram avaliadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS) para avaliação superficial e identificação de contaminantes. Avaliação macroscópica foi feita com paquí-metros digitais e com micrômetro. Miniplacas foram submetidas a ensaio de acordo com as normas da American Society for Testing and Materials, Norma F382-99. **Resultado:** Como resultado do exame pelo MEV e EDS, observa-se a presença de contaminantes, man-

chamentos e rebarbas em ambas as amostras. Na análise dimensional, observou-se variabilidade nas medidas entre as marcas e maior variabilidade de dimensão nas miniplacas Neoortho®. Ao ensaio de flexão, observou-se discrepância entre as amostras, sendo a Synthes® com maior homogeneidade, mas ambas dentro do intervalo preconizado pela ASTM. **Conclusão:** a MEV demonstrou superfícies de titânio homogêneas e com debris de superfície oriundos da fabricação e manipulação dos materiais. Dimensionalmente as miniplacas apresentam variações quando comparadas, e estas podem influenciar diretamente os resultados dos ensaios mecânicos, sendo que mesmo com as variações ambas estão de acordo com a norma da ASTM.

Palavra-chave: Miniplaca. Titânio. Ensaio dimensional. Ensaio mecânico

ABSTRACT

Introduction and objective: *this study aimed to compare two rigid internal fixation materials used in maxillofacial surgery, from the ultra-structural, dimensional and mechanical points of view. **Materials and Methods:** we have compared samples of 2.0 mm miniplates produced by Neoortho® and Synthes®. The samples were analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) for evaluation and identification of surface contaminants. Macroscopic evaluation was made with digital calipers and micrometer. The miniplates were subjected to testing in accordance with the F382-99 standards of the American Society for Testing and Materials Standard. **Result:** examination by SEM and EDS revealed the presence of contaminants, staining and burrs in both samples. In dimensional analysis, there was variability in measurements between brands and greater variability in size of Neoortho® miniplates. In the bending test, it was observed discrepancy between the samples, showing the Synthes® greater uniformity, but both within the range recommended by ASTM. **Conclusion:** the SEM showed homogeneous titanium surfaces and surface debris deriving from the manufacture and handling of materials. From the dimensional point of view, the miniplates showed variations when compared to each other, and this may directly influence the results of the mechanical tests. However, even with variations both are in agreement with the standard ASTM.*

Keywords: Miniplate. Titanium. Dimensional assay. Mechanical assay.

ROCHA JÚNIOR,
Valenteim da et
al. Avaliação ultra-
estrutural, dimendional
e mecânica de dois
sistemas de fixação
interna rígida de 2mm.
SALUSVITA, Bauru, v.
32, n. 2, p. 125-137,
2013.

ROCHA JÚNIOR,
Valenteim da *et al.* Avaliação ultra-
estrutural, dimensão
e mecânica de dois
sistemas de fixação
interna rígida de 2mm.
SALUSVITA, Bauru, v.
32, n. 2, p. 125-137,
2013.

INTRODUÇÃO

O tratamento das fraturas faciais é baseado nos princípios de redução e fixação dos segmentos ósseos, sendo que atualmente o método mais utilizado é a fixação interna rígida (PREIN, 1998; KIM *et al.*, 1997, OKAZAKI *et al.*, 1998; TRIVELLATO *et al.*, 2000).

Shubayev *et al.* mostraram que o sucesso da utilização do titânio intra-ósseos deve-se à sua capacidade de ficar permanentemente integrado com osso vitalizado, formando uma estrutura firme e matriz extracelular funcional com proteoglicanas, glicoproteínas e moléculas aderidas. Nos tratamentos de traumas e reconstruções faciais, as ligas de titânio demonstram baixo módulo de elasticidade e alta força mecânica; boa adaptação óssea; excelente biocompatibilidade e alta força de tensão (WEBER *et al.*, 1990).

Para Mathew e Frame (2000), estresse refere-se aos micromovimentos realizados pela placa e seus parafusos e não à falta de adaptação adequada da placa ao osso, o que geraria certo grau de estresse quando do aperto dos parafusos, tornado necessário também a avaliação das propriedades mecânicas das miniplacas utilizadas para reconstruções ósseas. O titânio apresenta favoráveis combinações de elevada resistência mecânica e térmica, baixa massa específica e alta resistência à corrosão. É usado em aplicações críticas, em que todas ou algumas dessas propriedades são necessárias, principalmente na estabilização e fixação de fraturas do esqueleto facial (TADEI *et al.*, 2004).

Sabe-se que as propriedades mecânicas são fortemente relacionadas à microestrutura da liga, logo, é importante entender a relação existente entre elas, a fim de se processar ligas eficientes para cada aplicação. Tão importante quanto às propriedades mecânicas, são as propriedades de superfície em escala atômica (KASENO, LAUSMAA, 1988). Impurezas na superfície de implantes podem resultar em mudança na resposta dos tecidos e que, portanto, todos os implantes devem estar livres de contaminação sobre a superfície (STEINEMANN, 1998). Esses elementos contaminantes podem ser oriundos nos procedimentos de fabricação, limpeza crítica, contato com ferramentas, jateamento, processo de embalagem e esterilização (MORA *et al.*, 2003; ELLINGSEN, 2000; KELLER *et al.*, 1990).

A *American Society for Testing and Materials*, em sua norma F382-99, de 2003, estabelece uma metodologia para o ensaio mecânico de placas ósseas metálicas. Entretanto, deixa claro que se trata de um teste para determinação intrínseca das propriedades estruturais das placas, medindo a rigidez em flexão, resistência à dobra e a rigidez equivalente à dobra. O método não intenciona definir níveis

de desempenho para as placas, na medida em que não se dispõe de conhecimento suficiente para prever as conseqüências do uso destas placas.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar *in vitro* dois sistemas de placas de titânio de 2.0 mm utilizados para fixação interna rígida por meio de avaliação ultraestrutural dimensional e mecânica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizadas miniplacas retas de titânio de 2.0mm da marca Synthes® (Solothurn, Switzerland) e Neortho® (Curitiba, PR – Brasil).

Análise Ultra-estrutural e Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS)

As amostras foram analisadas no laboratório da METALMAT – COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rio de Janeiro, Brasil). Foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura JEOL® JSM 6460 LV (Tokyo, Japan) and EDS THERMO® NORAN SYSTEM SIX 200 (Madison, WI USA).

A análise por microscopia eletrônica de varredura avaliou os detalhes de acabamento, alterações morfológicas e contaminações estruturais. Assim que encontrado um contaminante de superfície, procurou-se identificá-lo através de EDS. A análise por EDS procurou avaliar a composição química dos elementos contaminantes presentes. Nesta análise, procurou-se demonstrar os elementos sem quantificá-los.

Análise Macroscópica - Dimensional

O dimensionamento das amostras foi realizado no laboratório de Metrologia da Marinha do Brasil na Base Aérea Naval de São Pedro da Aldeia, no Rio de Janeiro, sendo as medidas feitas com paquímetros digitais Mitutoyo® digital caliper 500 (Suzano, São Paulo - Brasil) e um micrômetro digital Mitutoyo® MDC-Lite 293 (Suzano, São Paulo - Brasil), sobre uma mesa de desempenho de granito Mitutoyo® 517 (Suzano, São Paulo - Brasil), em uma sala com controle de temperatura e medição constante de 20.2° Celcius. Três amostras de cada marca foram mensuradas de acordo com a Figura 1.

ROCHA JÚNIOR,
Valenteim da et
al. Avaliação ultra-
estrutural, dimensão
e mecânica de dois
sistemas de fixação
interna rígida de 2mm.
SALUSVITA, Bauru, v.
32, n. 2, p. 125-137,
2013.

ROCHA JÚNIOR,
Valenteim da et
al. Avaliação ultra-
estrutural, dimensão
e mecânica de dois
sistemas de fixação
interna rígida de 2mm.
SALUSVITA, Bauru, v.
32, n. 2, p. 125-137,
2013.

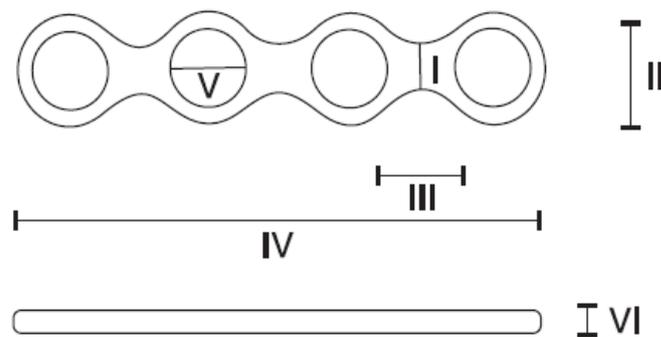


Figura 1 – Descrição das mensurações na miniplaca: I) entre elos; II) largura; III) distância entre elos; IV) comprimento da miniplaca; V) diâmetro do elo; VI) espessura da miniplaca.

ENSAIO MECÂNICO

Este teste foi realizado no centro de caracterização e desenvolvimento de materiais da UFSCar/UNESP (São Carlos, São Paulo – Brasil). O ensaio foi realizado segundo normas da ASTM F 382-99, em uma máquina de ensaio EMIC DL 10000 (Curitiba, Paraná - Brasil), com velocidade de 5 mm/min, 22° Celcius. As amostras avaliadas foram de 6 miniplacas retas com 8 furos e 2.0mm de espessura de cada marca.

RESULTADOS

Análise Ultra-estrutural e EDS

As amostras foram identificadas e analisadas dentro das regiões em que estariam livres de contaminações que pudessem ter sido causadas pela montagem do experimento. Observou-se que ambas as empresas apresentaram algumas alterações em sua superfície, como contaminantes superficiais, manchamentos, rebarbas e cavacos de usinagem, conforme a Figura 2.

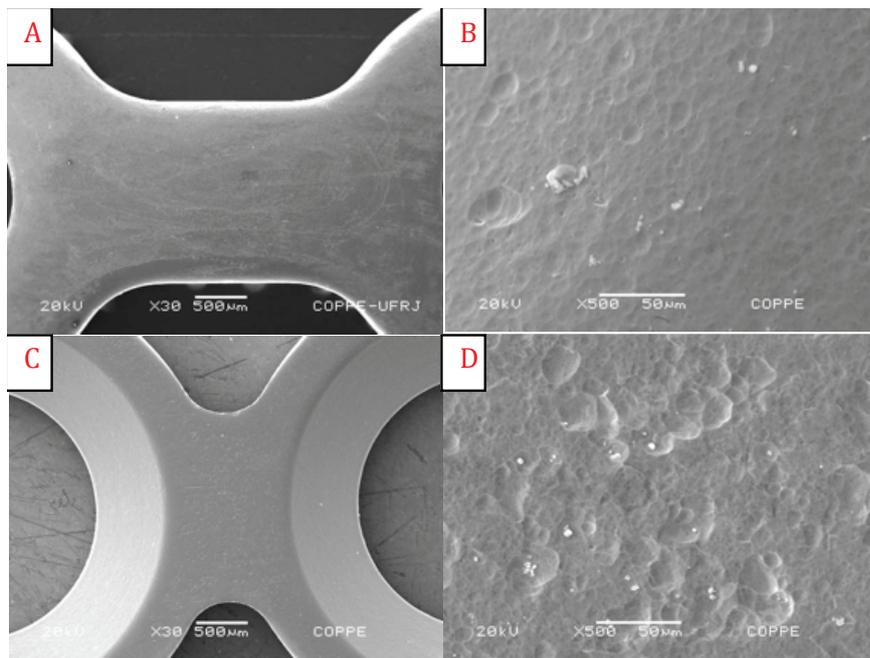


Figura 2 – a) superfície Neoortho 30x ; b) superfície Neoortho 500x; c) Superfície Synthes 30x; d) Superfície Synthes 500x.

EDS evidenciou a presença de titânio puro em ambas as amostras. Nas miniplacas Neoortho®, foram encontrados íons de: sódio, fósforo, enxofre, potássio, cloro, carbono, nitrogênio, alumínio, silício e cálcio, conforme Figura 3. Nas amostras de placas Synthes®: carbono, magnésio, alumínio, silício, enxofre, cálcio, ferro, zinco, fósforo, potássio, níquel e nitrogênio, conforme Figura 4.

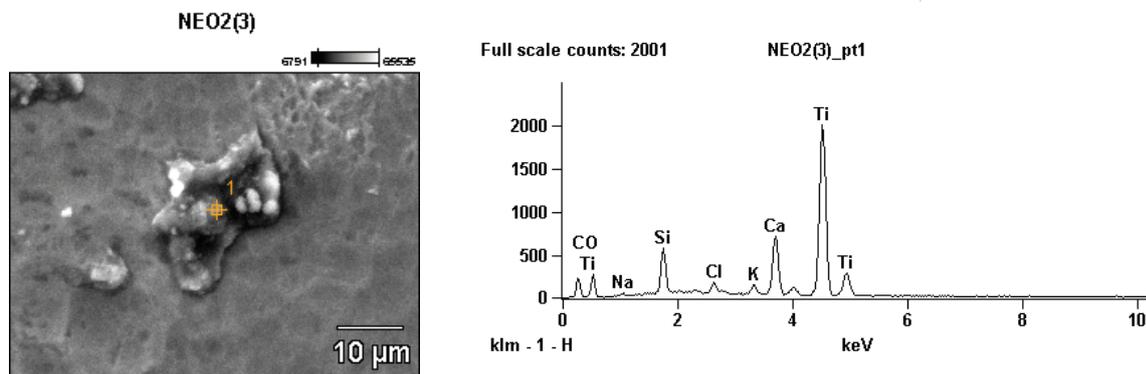


Figura 3 – MEV e EDS de placa Neoortho, evidenciando presença de íons sódio, fósforo, enxofre, potássio, cloro, carbono, nitrogênio, alumínio, silício e cálcio.

ROCHA JÚNIOR, Valenteim da et al. Avaliação ultra-estrutural, dimensional e mecânica de dois sistemas de fixação interna rígida de 2mm. SALUSVITA, Bauru, v. 32, n. 2, p. 125-137, 2013.

ROCHA JÚNIOR,
Valenteim da et
al. Avaliação ultra-
estrutural, dimendional
e mecânica de dois
sistemas de fixação
interna rígida de 2mm.
SALUSVITA, Bauru, v.
32, n. 2, p. 125-137,
2013.

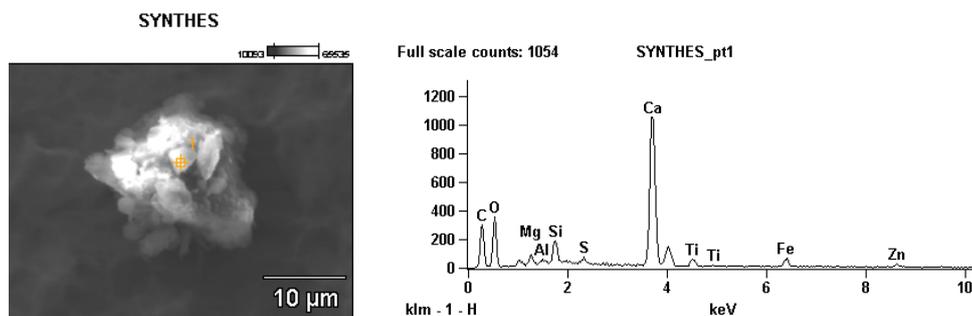


Figura 4 – MEV e EDS de placa Synthes, evidenciando presença de íons carbono, magnésio, alumínio, silício, enxofre, cálcio, ferro, zinco, fósforo, potássio, níquel e nitrogênio.

Análise Macroscópica - Dimensional

A análise dimensional demonstrou os seguintes resultados para as medidas previstas, expostos nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 – Medidas encontradas nas amostras Synthes®.

| Medida | Amostra 1 | Amostra 2 | Amostra 3 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| I | 2.09 | 2.09 | 2.09 |
| II | 4.983 | 4.980 | 4.984 |
| III | 3.91 | 3.93 | 3.97 |
| IV | 118.96 | | 118.98 |
| V | 1.98 | 1.98 | 1.98 |
| VI Extremidade | 1.018 | 1.021 | 1.030 |
| VI Meio | 1.021 | 1.022 | 1.032 |
| VI extremidade | 1.016 | 1.019 | 1.030 |

Tabela 2 – Medidas encontradas nas amostras Neoortho®.

| Medida | Amostra 1 | Amostra 2 | Amostra 3 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| I | 1.84 | 1.84 | 1.92 |
| II | 4.405 | 4.430 | 4.480 |
| III | 4.34 | 4.28 | 4.28 |
| IV | 100.34 | 100.36 | 100.42 |
| V | 2.12 | 2.08 | 2.08 |
| VI Extremidade | 0.980 | 0.992 | 1.006 |
| VI Meio | 1.040 | 0.995 | 1.008 |
| VI extremidade | 0.982 | 0.992 | 1.008 |

Tabela 3 – Mediana e média para medidas dimensionais Synthes®.

| | Mediana | Média | Desvio Padrão |
|-------------|----------|----------|---------------|
| Medida I | 2.0900 | 2.090000 | 0.000000 |
| Medida II | 4.9830 | 4.982333 | 0.002081 |
| Medida III | 3.9300 | 3.936667 | 0.030550 |
| Medida IV | 118.9600 | 118.9533 | 0.030550 |
| Medida V | 1.9800 | 1.980000 | 0.000000 |
| Medida VI 1 | 1.021 | 1.230000 | 0.006244 |
| Medida VI 2 | 1.022 | 1.250000 | 0.006082 |
| Medida VI 3 | 1.019 | 1.021667 | 0.007371 |

Tabela 4 – Mediana e média para medidas dimensionais Neoortho®.

| | Mediana | Média | Desvio Padrão |
|-------------|---------|----------|---------------|
| Medida I | 1.8400 | 1.866667 | 0.046188 |
| Medida II | 4.430 | 4.438333 | 0.038188 |
| Medida III | 4.280 | 4.30000 | 0.034641 |
| Medida IV | 100.36 | 100.3733 | 0.041633 |
| Medida V | 2.08 | 2.093333 | 0.023094 |
| Medida VI 1 | 0.992 | 0.992667 | 0.013012 |
| Medida VI 2 | 1.008 | 1.014333 | 0.023158 |
| Medida VI 3 | 0.992 | 0.994000 | 0.013114 |

Resultados do ensaio de Flexão

As tabelas 5 e 6, em conjunto com os Gráficos 1 e 2, demonstram os resultados do ensaio de flexão. Embora os resultados sejam discrepantes, ambos estão dentro do intervalo preconizado pela ASTM.

Tabela 5 - Resultados do ensaio de Flexão Neoortho®.

| Amostra | K (N/m) | Ele (N.m ²) | q (m) | P (N) | R (N.m) |
|---------------|------------|----------------------------|----------|----------|------------|
| Neoortho 1 | 12987.7 | 0.01 | 0.000026 | 17.51 | 0.11 |
| Neoortho 2 | 12464.6 | 0.01 | 0.000026 | 19.51 | 0.13 |
| Neoortho 3 | 13917.6 | 0.01 | 0.000026 | 20.67 | 0.13 |
| Neoortho 4 | 11359.7 | 0.01 | 0.000026 | 11.13 | 0.07 |
| Neoortho 5 | 13694.8 | 0.01 | 0.000026 | 15.64 | 0.10 |
| Neoortho 6 | 11793.4 | 0.01 | 0.000026 | 15.30 | 0.10 |
| Média | 12702.98 | 0.012 | 0.000026 | 16.628 | 0.108 |
| Desvio Padrão | 1022.61 | 0.001 | ----- | 3.417 | 0.022 |

ROCHA JÚNIOR,
Valenteim da et
al. Avaliação ultra-
estrutural, dimensão
e mecânica de dois
sistemas de fixação
interna rígida de 2mm.
SALUSVITA, Bauru, v.
32, n. 2, p. 125-137,
2013.

ROCHA JÚNIOR,
 Valenteim da *et al.* Avaliação ultra-
 estrutural, dimensional
 e mecânica de dois
 sistemas de fixação
 interna rígida de 2mm.
SALUSVITA, Bauru, v.
 32, n. 2, p. 125-137,
 2013.

Tabela 6 – Resultado do ensaio de flexão Synthes®.

| Amostra | K (N/m) | Ele (N.m ²) | q (m) | P (N) | R (N.m) |
|---------------|------------|----------------------------|----------|----------|------------|
| Synthes 1 | 21682.5 | 0.02 | 0.000024 | 37.10 | 0.22 |
| Synthes 2 | 21398.9 | 0.02 | 0.000024 | 38.48 | 0.23 |
| Synthes 3 | 21995.3 | 0.02 | 0.000024 | 38.56 | 0.23 |
| Synthes 4 | 22226.3 | 0.02 | 0.000024 | 38.91 | 0.23 |
| Synthes 5 | 21866.4 | 0.02 | 0.000024 | 36.58 | 0.22 |
| Synthes 6 | 22115.4 | 0.02 | 0.000024 | 36.73 | 0.22 |
| Média | 21880.78 | 0.016 | 0.000024 | 37.726 | 0.226 |
| Desvio Padrão | 303.09 | 0.000 | ----- | 1.037 | 0.006 |

Gráfico 1 - Resultados do ensaio de Flexão Neoortho®.

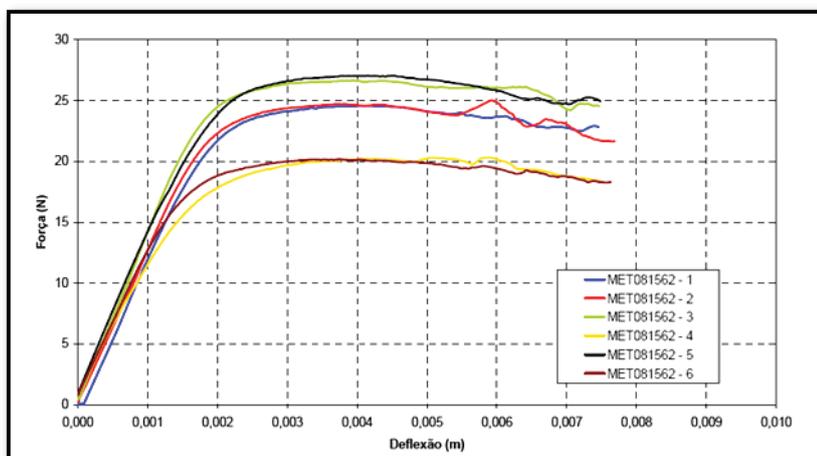
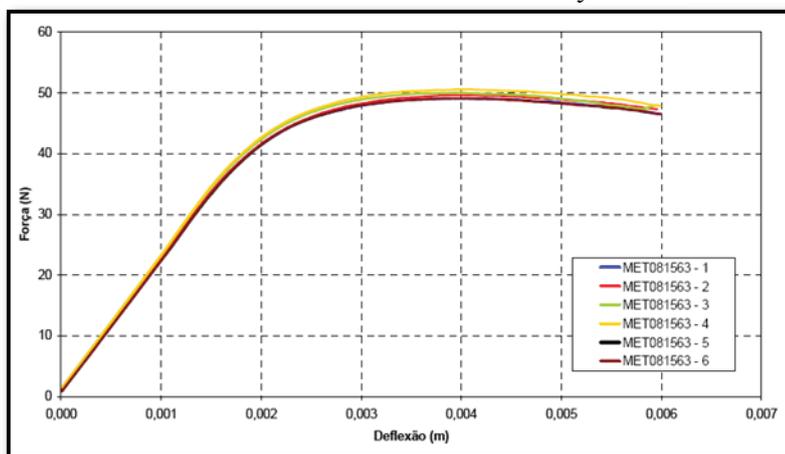


Gráfico 2 - Resultados do ensaio de Flexão Synthes®.



DISCUSSÃO

Miniplacas de titânio apresentam-se como o padrão de fixação interna rígida em cirurgia maxilo-facial. Materiais a base de titânio demonstram baixo módulo de elasticidade, estabilidade mecânica, adequada adaptação óssea, biocompatibilidade e boa resistência mecânica, sendo que outra característica favorável dessas ligas é a formação da camada de dióxido de titânio em sua superfície quando em contato com o ar, o que as deixa muito resistentes à corrosão (MARSH, 1989).

No presente estudo, após análise ultra-estrutural e EDS, verificou-se que as amostras foram identificadas e analisadas dentro das regiões sem deformações e/ou contaminações que pudessem ter sido causadas pela montagem do experimento. Observou-se que ambas as marcas apresentaram algumas alterações em sua superfície, como contaminantes superficiais, manchamentos, rebarbas e cavacos de usinagem. Além disso, ambas são compostas de titânio puro, e que as origens das contaminações que foram encontradas podem ser as mesmas citadas por Kasemo e Lausmaa (1988), Steinemann (2000) e Morra *et al.* (2003). Descartaram-se contaminações por esterilização, pois as amostras não tinham sido submetidas ainda ao processo de esterilização. Cloro, magnésio, carbono, oxigênio, nitrogênio e potássio podem estar relacionados com processos de manipulação do material, já que são depósitos que caracterizam componentes orgânicos. Já silício, alumínio e ferro estão relacionados com processos de jateamento ou tamboreamento das miniplacas. Além disso, o magnésio e o cálcio podem ser da água na lavagem das amostras. No caso do ferro e do zinco, pode tratar-se de resíduos de fabricação.

Manchamento foi detectado em maior grau nas miniplacas Neoortho[®], este pode estar relacionado ao processo de eletroforese que a miniplaca é submetida para que o titânio apresente a cor que o fabricante deseja para o material.

Na avaliação dimensional foi feita a partir da modificação da análise de Trivellato *et al.*(2000). Tabelas 1 e 2 demonstram as medidas entre as miniplacas, a variação das medidas mostrou-se maior no grupo Neoortho[®], o que também foi observado nas Tabelas 3 e 4 onde a média e mediana demonstrou um desvio padrão maior para este sistema nas suas dimensões. Estas alterações dimensionais associadas aos componentes estruturais da miniplaca podem levantar hipóteses sobre os resultados do static bendind test. Neste ensaio observou-se uma uniformidade maior da curva de bending da miniplaca Synthes[®]. Tais resultados podem ser explicados a partir da análise dos fatores que afetam o desempenho de uma estrutura qualquer submetida a tais ensaios. Estes critérios seriam a densidade, a

ROCHA JÚNIOR,
Valenteim da *et al.* Avaliação ultra-estrutural, dimensional e mecânica de dois sistemas de fixação interna rígida de 2mm. *SALUSVITA*, Bauru, v. 32, n. 2, p. 125-137, 2013.

ROCHA JÚNIOR,
Valenteim da *et al.* Avaliação ultra-
estrutural, dimensional
e mecânica de dois
sistemas de fixação
interna rígida de 2mm.
SALUSVITA, Bauru, v.
32, n. 2, p. 125-137,
2013.

espessura e o módulo de elasticidade (BEEER e JOHNSTON, 2008).

O exame de EDS, apesar de ter encontrado titânio puro, detectou que existem variações de íons ferro encontrado somente na miniplaca Synthes® e oxigênio encontrado em ambas. Para certificação da graduação do titânio que compõe cada amostra, seriam necessários outros testes, o que não era o objetivo do trabalho. Entretanto, incremento de ferro na liga pode aumentar a resistência mecânica que, segundo Callister (CALLISTER, 1991) estaria diretamente ligado ao módulo de elasticidade, sendo que o titânio grau 4, por exemplo, supera o titânio grau 2 em torno de 59%, e este seria um incremento bastante considerável em uma propriedade mecânica.

O ferro é um elemento β ligante, que, além de incrementar o desempenho mecânico da liga, também altera a densidade, devido à possibilidade de trabalho a frio, envelhecimento e refinamento dos grânulos (KASEMO E LAUSMAA, 1988). Por outro lado, a presença de ferro e oxigênio na liga apresenta um maior risco de oxidação e liberação destes óxidos aos tecidos adjacentes. Este maior risco de oxidação representa também maior risco de corrosão da liga em meio biológico (TADEI *et al.*, 2004; NIINOMI, 2008). Mesmo com resultados discrepantes entre as miniplacas nos ensaios mecânicos, ambos mantêm-se no intervalo preconizado pela ASTM, o que demonstra que ambas as amostras respondem de forma adequada a norma. Portanto, a diferença de dimensões entre fabricantes não significa perda de resultado clínico, já que ambas miniplacas estão em pleno uso clínico. O presente estudo apresenta que estabilidade dimensional pode ter influência nos resultados dos ensaios mecânicos e que os constituintes da miniplaca também são um fator importante neste teste.

CONCLUSÃO

A MEV demonstrou superfícies de titânio homogêneas e com debris de superfície oriundos da fabricação e manipulação dos materiais. Dimensionalmente as miniplacas apresentam variações quando comparadas, e estas podem influenciar diretamente os resultados do ensaio mecânico, sendo que mesmo com as variações ambas estão de acordo com a norma da ASTM.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à empresa Neortho Produtos Ortopédicos S/A pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BEER, F. P. E.; JOHNSTON Jr E. R. **Mechanics of Materials**. McGraw-Hill, Science/Engineering/Math, 2008.
- CALLISTER Jr, W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- ELLINGSEN, J. E. Surface configurations of dental implants. **Periodontol 2000**. Copenhagen, v.17, p. 36-46, 1998.
- KASEMO, B.; LAUSMAA, J. Biomaterial and implant surfaces: on the role of cleanliness, contamination, and preparation procedures. **J Biomed Mater Res**. Hoboken, v. 22 (A2 Suppl), p.145-58, 1988.
- KELLER, J. C. *et al.* Characterization of sterilized CP titanium implant surfaces. **Int J Oral Maxillofac Implants**; Lombard, v. 5, n. 4, p. 60-7, 1990.
- KIM, Y. K.; YEO, H. H.; LIM, S. C. Tissue response to titanium plates: a transmitted electron microscopic study. **J Oral Maxillofac Surg.**, Copenhagen, v. 55, n. 4, p. 322-6, 1997.
- MATTHEW, I. R.; FRAME, J. W. Release of metal in vivo from stressed and nonstressed maxillofacial fracture plates and screws. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.**, St. Louis, v. 90, n. 1, p. 33-8, 2000.
- MARSH, J. L. The use of the Wurtzberg system to facilitate fixation in facial osteotomies. **Clin Plast Surg**, Philadelphia, v.16, n. 1, p. 49-60, 1989.
- MORRA, M. *et al.* Surface chemistry effects of topographic modification of titanium dental implant surfaces: 1. Surface analysis. **Int J Oral Maxillofac Implants**, Lombard , v. 18, n. 1, p. 40-5, 2003.
- NIINOMI, M. Mechanical biocompatibilities of titanium alloys for biomedical applications. **J Mech Behav Biomed Mater**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 30-42. Epub 2007 Aug 27, 2008.
- OKAZAKI, Y, *et al.*. Corrosion resistance, mechanical properties, corrosion fatigue strength and cytocompatibility of new Ti alloys without Al and V. **Biomaterials**, Amsterdam, v. 19, n. 13, p. 1197-215, 1998.
- SHUBAYEV, V. I. *et al.*. Titanium implants induce expression of matrix metalloproteinases in bone during osseointegration. **J Rehabil Res Dev**. Baltimore, v. 41, n. 6A, p. 757-66, 2004.
- ROCHA JÚNIOR, Valenteim da *et al.* Avaliação ultra-estrutural, dimensional e mecânica de dois sistemas de fixação interna rígida de 2mm. **SALUSVITA**, Bauru, v. 32, n. 2, p. 125-137, 2013.

ROCHA JÚNIOR,
Valenteim da *et al.* Avaliação ultra-
estrutural, dimensão
e mecânica de dois
sistemas de fixação
interna rígida de 2mm.
SALUSVITA, Bauru, v.
32, n. 2, p. 125-137,
2013.

STEINEMANN, S.G. Titanium--the material of choice? **Periodon-
tol.** Copenhagen, v.17, p. 7-21, 1998.

TADEI, E. B. *et al.* Sinterização a vácuo da liga Ti-35Nb-7Zr- 5TA.
Rev Bras de Aplicações de Vácuo. Campinas, v. 23, n. 2, p. 68-72,
2004.

TRIVELLATO, A. E., *et al.* Estudo químico, macroscópico e da re-
sistência à flexão de placas e parafusos de titânio usados na fixação
interna rígida. **Pesq Odontol Bras.**, São Paulo, v. 14n. 4, p. 392-8,
2000.

WEBER, W. *et al.* Results after treatment of facial fractures with the
Wurzburg titanium miniplate system. **Dtsch Z Mund Kiefer Gesi-
chtschir.**, Munchen, v. 14, n. 1 p. 46-52, 1990