

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE ODONTOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

NÍVEL: DOUTORADO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRÓTESE DENTÁRIA

**AVALIAÇÃO DA PRÉ-CARGA E TORQUE DE REMOÇÃO DE 2 TIPOS DE
PARAFUSOS PARA FIXAÇÃO DE PILARES PROTÉTICOS ASSOCIANDO
EXTENSOMETRIA E CICLAGEM MECÂNICA**

RAFAEL AUGUSTO STÜKER

PORTO ALEGRE

2016

Rafael Augusto Stüker

**AVALIAÇÃO DA PRÉ-CARGA E TORQUE DE REMOÇÃO DE 2 TIPOS DE
PARAFUSOS PARA FIXAÇÃO DE PILARES PROTÉTICOS ASSOCIANDO
EXTENSOMETRIA E CICLAGEM MECÂNICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do título de Doutor em Odontologia, na área de concentração de Prótese Dentária.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rolim Teixeira

PORTO ALEGRE

2016

Ficha Catalográfica

S938a Stüker, Rafael Augusto

Avaliação da pré-carga e torque de remoção de 2 tipos de parafusos para fixação de pilares protéticos associando extensometria e ciclagem mecânica / Rafael Augusto Stüker . – 2016.

49 f.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Odontologia, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rolim Teixeira.

1. Implantes Dentários. 2. Torque. 3. Prótese Dentária. 4. Falha de Prótese.
I. Teixeira, Eduardo Rolim. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais um agradecimento especial por todo apoio e incentivo durante todo o período deste curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Rolim Teixeira pela confiança e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Prof. Dr. Isaac Newton Lima da Silva por tornar este projeto possível.

Ao Prof. Dr. Márcio Lima Grossi pelo conhecimento transmitido, e pelo auxílio na análise estatística.

Ao Técnico e Professor MSc. Filipi Damasceno Vianna do Laboratório IDEIA por todo auxílio no desenvolvimento da célula de carga e acompanhamento durante os testes.

Ao Técnico Mário Vian, funcionário do Laboratório IDEIA, pela paciência e essencial auxílio no manuseio da célula de carga durante todo experimento.

Ao Técnico Henrique Bosenbecker pela participação no desenvolvimento do projeto.

Aos integrantes da banca: Ana Maria Spohr, Fabrício Mezzomo Collares e Marcos Michelon Naconecy.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da PUCRS pelo conhecimento transmitido.

Ao Programa de Bolsas de Mestrado e Doutorado da PUCRS (PROBOLSAS) pela concessão da bolsa de estudo.

À empresa Neodent pela colaboração com o material de insumo.

RESUMO

O afrouxamento e/ou fratura de parafusos para fixação de pilares constitui uma complicação frequente nas reabilitações implanto-suportadas. O torque de apertamento de parafusos gera uma força de compressão entre pilar e implante denominada pré-carga, que tem seu valor aumentado quando o atrito entre as superfícies do parafuso e implante diminui. Com este objetivo foram desenvolvidos materiais de recobrimento que funcionam como lubrificantes. Este trabalho comparou parafusos de titânio com parafusos de titânio com recobrimento de *DLC* (*Diamond-Like Carbon*) através da medida de pré-carga e torque de remoção quando submetidos à ciclagem mecânica através de extensometria. Também foi avaliada a correlação entre métodos. Para este estudo foram utilizados 32 implantes com hexágono externo e 16 parafusos de cada material. Foi desenvolvida uma célula de carga que permitiu o monitoramento da compressão entre pilar e implante por extensometria durante o período de ciclagem. Com um nível de significância de 5% foram observadas diferenças significativas entre os grupos, sendo que os maiores valores de pré-carga ($336,06 \pm 101,54\text{N}$) estavam relacionados aos menores de torque de remoção ($24,03 \pm 2,51\text{Ncm}$) no grupo de titânio com recobrimento de *DLC*, enquanto os parafusos de titânio sem recobrimento apresentaram uma média de pré-carga de $269,98 \pm 91,93\text{N}$ e $26,41 \pm 2,94\text{Ncm}$ para o torque de remoção. Não foram observadas diferenças significativas na perda de pré-carga entre períodos de ciclagem nos dois grupos. Os parafusos recobertos por *DLC* apresentaram os maiores valores de pré-carga pós-ciclagem ($293,74 \pm 94,32\text{N}$; $219,68 \pm 85,16\text{N}$), com diferenças significativas, assim como os maiores de torque de remoção pós-ciclagem ($19,82 \pm 3,47\text{Ncm}$; $17,93 \pm 3,59\text{Ncm}$), mas sem diferenças significativas. A correlação entre torque de remoção e pré-carga foi fraca para ambos os grupos, demonstrando que avaliam características diferentes, não podendo ser consideradas correspondentes entre si.

Palavras chave: Implantes dentários, torque, prótese dentária, falha de prótese

ABSTRACT

The loosening and/or fracture of abutment screws is a common complication in implant-supported restorations. The torque generates a force of compression between the abutment and implant called preload, which increases when the friction between the surfaces decreases. With this objective, coating materials were developed that work as a dry lubricant. The present study compared titanium screws with titanium screws with a *DLC* (Diamond-Like Carbon) coating by measuring the preload and removal torque when submitted to mechanical cycling. The correlation between methods was also evaluated. For this study, 32 implants with external hexagon and 16 screws of each material were used. A cell was developed that enabled monitoring the compression between the abutment and implant with strain gauges during the cycling period. With a significance level of 5%, significant differences were observed between the groups, with the highest preload values ($336.06 \pm 101.54\text{N}$) being related to the lowest removal torque ($24.03 \pm 2.51\text{Ncm}$) in the titanium with coating group, while the titanium screws had a preload average of $269.98 \pm 91.93\text{N}$ and $26.41 \pm 2.94\text{Ncm}$ for the removal torque. We did not observe significant differences regarding loss of preload between cycling periods in both groups. *DLC* coated titanium screws group presented the highest preload ($293.74 \pm 94.32\text{N}$; $219.68 \pm 85.16\text{N}$), with significant differences, and removal torque ($19.82 \pm 3.47\text{Ncm}$; $17.93 \pm 3.59\text{Ncm}$) values after cycling, although with no significant differences. The correlation between removal torque and preload was weak for both groups, demonstrating that they evaluate different characteristics.

Key words: dental implants, torque, dental prosthesis, prosthesis failure

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2. CAPÍTULO I (Artigo Científico).....	11
3. DISCUSSÃO.....	32
4. CONCLUSÕES.....	37
5. REFERÊNCIAS.....	38
ANEXOS.....	42

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA

O desenvolvimento dos implantes de titânio trouxe inúmeros benefícios para a reabilitação de pacientes edentados. Os procedimentos envolvidos no tratamento com implantes dentários constituem uma modalidade reparadora que quando devidamente indicada e executada, respeitando princípios biológicos e mecânicos, pode recuperar satisfatoriamente grande parte da função e estética perdidas (CARR, BRUNSKI, HURLEY, 1996).

Atualmente encontramos vários estudos clínicos longitudinais que suportam cientificamente esta modalidade de tratamento, apresentando resultados clínicos previsíveis com uma longevidade satisfatória, mas tendo como pré-requisitos básicos para o sucesso a observação de inúmeros critérios de avaliação do paciente, desde sua saúde sistêmica até o cumprimento das exigências estéticas e mecânicas que envolvem a confecção de uma prótese implanto-suportada (ZARB, SCHMITT, 1990; MARTIN *et al.*, 2001).

Apesar da evolução significativa de vários sistemas de implantes dentários, alguns quesitos quanto ao desenho e características intrínsecas destes sistemas ainda podem ser melhorados, como por exemplo, os relacionados ao funcionamento mecânico. Atualmente, entre outros pontos relevantes relacionados ao sucesso clínico das próteses implanto-suportadas, encontra-se reportada na literatura a frequente fratura e/ou afrouxamento de parafusos protéticos e parafusos para fixação de pilares. Hoyer *et al.* (2001) consideram a perda do parafuso para fixação de pilares somente menos frequente que problemas relacionados à falha de osseointegração em acompanhamentos longitudinais.

Estas perdas de parafusos causam uma série de transtornos clínicos tanto aos profissionais envolvidos no processo de restauração como aos pacientes. A frequente necessidade de manutenção da restauração como o

aumento dos custos totais do tratamento reabilitador são consequências diretas deste processo (BINON *et al.*, 1994).

Muitos autores relacionam as falhas dos parafusos à constante perda da pré-carga ao longo do tempo, ou seja, com a diminuição da tensão induzida durante a fixação do pilar ao implante com uma força de torque específica, causando um alongamento do parafuso e criando uma força de compressão entre o pilar protético e o implante pela memória elástica do parafuso (HAACK *et al.*, 1995; PIERMATTI *et al.*, 2006).

Esta força quando corretamente aplicada deve promover a integridade da união entre pilar e implante, e deve sempre ser maior que as cargas funcionais oriundas da mastigação, pois se isto não ocorrer a união irá falhar (TAN, TAN, NICHOLLS, 2004). Al Raffee *et al.* (2002) citaram vários fatores que podem alterar a pré-carga: material dos componentes, fadiga do metal, coeficiente de fricção entre componentes, micromovimentos durante a função mastigatória, cargas funcionais fora do eixo axial do implante, torque aplicado insuficiente, elasticidade óssea, além da velocidade de fixação dos parafusos.

Para a determinação da pré-carga ideal cada sistema de implante pesquisa o maior torque possível sem alterar características de resistência do parafuso, valor que é determinado após uma série de testes mecânicos e não deve ultrapassar 75% de sua resistência à fratura para que não ultrapasse seu limite de deformação elástica (LANG *et al.*, 2003).

Com os métodos atualmente disponíveis não é possível realizar a medida direta da pré-carga clinicamente, somente sua avaliação indireta, o que pode causar uma série de distorções. Segundo Byrne *et al.* (2006) as 3 medidas indiretas que corresponderiam à pré-carga são: ângulo de rotação, compressão das estruturas ao implante e alongamento do parafuso.

A medida mais correta seria o alongamento do parafuso, que foi descrita por Haack *et al.*, (1995). Outro método capaz de realizar esta avaliação é a análise por elementos finitos, através de uma simulação por computador

utilizando um *software* adequado, mas sujeito a uma série de variáveis que podem não demonstrar precisamente a situação clínica (LANG *et al.*, 2003).

Também pode ser avaliada medindo-se a força necessária para abertura da união, como descreveram Porter, Robb (1998) que compararam parafusos de ouro-paládio a estes com acréscimo de uma película de 0,76 μ m de ouro puro, que corresponderia a um lubrificante seco diminuindo a fricção entre superfícies e aumentando a pré-carga. Para isso utilizaram uma máquina de testes que registrou a carga necessária para uma abertura da interface implante-pilar de 0,0064mm, mas este método possui a desvantagem de não permitir comparações antes e depois da ciclagem mecânica.

Existem muitos trabalhos que medem a pré-carga antes da ciclagem mecânica por diversos métodos, mas estes ficam tecnicamente inviabilizados posteriormente a ela, restando apenas o torque de remoção (ELIAS, FIGUEIRA, RIOS, 2006; SANTAFÉ, 2010; VILLARINHO *et al.*, 2015). Por este motivo vários trabalhos utilizam o torque de remoção como única forma de avaliação tanto antes como após a ciclagem mecânica (KHRAISAT *et al.*, 2004; COPPEDÊ *et al.*, 2009; NIGRO *et al.*, 2010; PARK *et al.*, 2010; ASSUNÇÃO *et al.*, 2011; BASÍLIO ,BUTIGNON, FILHO, 2012).

Segundo Hagiwara, Ohashi (1994); Guzaitis, Knoernschild, Viana (2011); Dziedzic *et al.* (2012) o torque de remoção pode não representar a pré-carga, mas o grau de atrito entre superfícies, ou a resistência contra a perda da pré-carga, o que tem sua importância, mas não deve ser analisado de forma isolada, sendo apenas um dos componentes da pré-carga. Apesar disso, muitos trabalhos utilizam este dado para tirar conclusões definitivas sobre indicações de um material de parafuso.

Piermatti *et al.* (2006) descreveram um método de avaliação do torque presente que possibilitou medidas em vários momentos da ciclagem mecânica, mas envolvendo uma leve rotação do parafuso, que seria uma medida similar ao torque de remoção.

Stüker *et al.* (2008), avaliaram 3 materiais de parafusos através do torque de remoção e pré-carga por extensometria no mesmo momento, e sem realização de ciclagem mecânica. Observaram uma tendência dos maiores valores de pré-carga estarem associados aos menores de torque de remoção correspondendo aos parafusos de ouro. Martin *et al.* (2001) utilizaram a avaliação do torque de remoção apenas como um dos componentes, junto com o grau de rotação do parafuso para o cálculo de pré-carga.

Em função de existirem muitas dúvidas sobre o mecanismo de perda dos parafusos e quanto aos métodos de medida, este trabalho teve por objetivo desenvolver um método de medida com utilização de extensômetros capaz de monitorar a pré-carga pela compressão entre pilar e implante durante o procedimento de ciclagem mecânica, registrando valores antes e depois da ciclagem pelo mesmo método sem a necessidade de abertura da união, comparando parafusos de titânio com parafusos de titânio recobertos por *DLC* (*Diamond-Like Carbon*), além da medida por torque de remoção. Como um segundo objetivo, temos a investigação quanto à presença de uma possível correlação entre pré-carga obtida pós-torque de apertamento dos parafusos e o torque necessário para a remoção dos mesmos.

2. CAPÍTULO I (Artigo científico)

Artigo

Formato conforme diretrizes do periódico The Journal of Prosthetic Dentistry, Qualis A1.

AVALIAÇÃO DA PRÉ-CARGA E TORQUE DE REMOÇÃO DE 2 TIPOS DE PARAFUSOS PARA FIXAÇÃO DE PILARES PROTÉTICOS ASSOCIANDO EXTENSOMETRIA E CICLAGEM MECÂNICA.

Rafael Augusto Stüker¹, Márcio Lima Grossi¹, Isaac Newton Lima da Silva², Filipi Damasceno Vianna², Eduardo Rolim Teixeira¹.

1 Department of Prosthodontics, Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil

2 Department of Mechanical Engineering, Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil

Clinical Study

Abstract

Statement of problem: Em função da frequência de problemas mecânicos envolvendo fratura e/ou afrouxamento de parafusos para fixação de pilares protéticos faz-se necessário um melhor entendimento deste processo.

Purpose: O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método capaz de mensurar precisamente e também comparar a pré-carga de 2 tipos de materiais de parafusos para fixação de pilares protéticos antes e depois da ciclagem mecânica, além de verificar uma possível correlação entre este método e o método tradicional de mensuração envolvendo torque de remoção.

Material and Methods: Foram utilizados 32 implantes com hexágono externo, 32 pilares para próteses cimentadas, 16 parafusos de titânio (Grupo 1) e 16 parafusos de titânio com recobrimento de *DLC* (Grupo 2), além de 32 *copings* protéticos metálicos, todos componentes do mesmo fabricante (*Neodent*[®], Curitiba, Brasil). Cada pilar foi fixado ao implante com 32Ncm e uma célula de carga desenvolvida para este estudo registrou os valores da pré-carga obtidos medindo a compressão entre o pilar e implante por extensometria. Após, o parafuso foi removido e registrado o torque de remoção, este procedimento foi repetido e posteriormente os parafusos sofreram uma terceira fixação quando foi registrada a pré-carga pré-ciclagem e, agrupados em 4 conjuntos distintos, foram submetidos a ciclagem mecânica por 1.000.000 de ciclos a 2Hz de frequência sob uma carga de 85N incidindo em ângulo de 30°. Durante a ciclagem, a pré-carga foi registrada por extensometria a cada 200.000 ciclos, sendo registrado o torque de remoção pós-ciclagem ao final dos ciclos. Depois da ciclagem mecânica cada conjunto sofreu mais 5 fixações/remoções quando foram registrados novamente os valores de pré-carga e torque de remoção.

Results: Os parafusos de titânio com tratamento de superfície apresentaram os maiores valores de pré-carga ($336,06 \pm 101,54\text{N}$) em relação aos de titânio ($269,98 \pm 91,93\text{N}$), utilizando o teste *Mann-Whitney - U* ($p < 0,001$). Para o torque de remoção, os parafusos de titânio apresentaram $26,41 \pm 2,94\text{Ncm}$ e os de titânio com tratamento de superfície $24,03 \pm 2,51\text{Ncm}$ (teste *t* de *student*, $p < 0,001$). A correlação entre a pré-carga e torque de remoção foi baixa tanto para os parafusos de titânio (0,061) quanto para os de titânio com tratamento de superfície (0,259), utilizando o teste de correlação de Pearson. Após 1.000.000 de ciclos não foram encontradas diferenças significativas entre os diferentes períodos de ciclagem nos dois grupos ($p > 0,05$). Os parafusos recobertos por *DLC* apresentaram os maiores valores de pré-carga pós-ciclagem ($293,74 \pm 94,32\text{N}$; $219,68 \pm 85,16\text{N}$: titânio; $p < 0,05$) assim como os maiores de torque de remoção pós-ciclagem ($19,82 \pm 3,47\text{Ncm}$; $17,93 \pm 3,59\text{Ncm}$: titânio), mas este sem diferenças significativas ($p > 0,05$).

Conclusions: Os parafusos de titânio com recobrimento de *DLC* (*Diamond-Like Carbon*) apresentaram os maiores valores de pré-carga e os menores de torque de remoção e foi encontrada baixa correlação entre estes 2 métodos para os 2 grupos, sugerindo que conclusões de estudos que utilizam apenas um destes métodos poderiam apresentar limitações. Não foram encontradas diferenças significativas em ambos os grupos quanto à perda de pré-carga após 1.000.000 de ciclos, como entre os períodos de ciclagem. Os parafusos recobertos por *DLC* apresentaram os maiores valores de pré-carga pós-ciclagem assim como os maiores de torque de remoção pós-ciclagem, mas este sem diferenças significativas.

Clinical Implications:

Avaliar o material de recobrimento de parafusos que pode oferecer uma maior longevidade para as próteses sobre implantes, diminuindo complicações clínicas. Também estabelecer uma padronização dos procedimentos de fixação dos parafusos através da comparação dos métodos de avaliação atualmente disponíveis.

Introduction

O surgimento dos implantes osseointegrados trouxe inúmeros benefícios para a reabilitação de pacientes edentados. Atualmente é considerada uma técnica confiável e previsível devido a uma série de estudos longitudinais que comprovam sua eficácia.^{1, 2, 3, 4}

Apesar da evolução significativa dos sistemas de implantes, as falhas mecânicas como fratura e/ou afrouxamento de parafusos para fixação de pilares são apenas menos frequentes que falhas na osseointegração em acompanhamentos longitudinais.^{3, 5}

O torque induz um alongamento do parafuso e sua recuperação elástica gera uma compressão entre pilar e implante denominada pré-carga.^{6, 7, 8} Ainda não se tem um completo conhecimento do mecanismo de perda dos parafusos,⁹ mas alguns autores relacionam estas falhas com uma pré-carga inicial

insuficiente ou com sua constante perda ao longo do tempo. Esta força é primeiramente dependente do torque aplicado, que é limitado por propriedades do parafuso, não devendo ultrapassar 75% de sua resistência à fratura para que permaneça em seu limite elástico de deformação.^{10, 11} Outros fatores que podem ter influência sobre a pré-carga são: material dos componentes, rugosidade de superfície, anatomia do parafuso e velocidade de aplicação do torque.^{4, 6, 7, 10}

A pré-carga obtida pós torque de apertamento de parafusos tem relação com o atrito entre a superfície do parafuso e interna do implante, pois no momento do torque 90% da energia é utilizada para alisar possíveis irregularidades das superfícies em contato e apenas 10% para o alongamento do parafuso e produção de pré-carga. Seguindo este conceito conclui-se que com a repetição de fixações do mesmo parafuso e consequente diminuição do atrito entre superfícies a pré-carga aumentaria, mas existem opiniões conflitantes sobre a reutilização do mesmo parafuso.^{7, 12, 13}

Outra influência das irregularidades no momento da aplicação do torque é o relaxamento das deformações induzidas nas superfícies das roscas ao longo do tempo mesmo sem a aplicação de cargas externas o que pode gerar uma perda do torque inicial de até 25% nas primeiras 15 horas,¹⁴ o que faz alguns autores sugerirem a necessidade da aplicação de um novo torque após 5 minutos, porém sem um consenso sobre o protocolo clínico ideal a ser seguido.^{7, 15, 16, 17}

Muitos materiais de recobrimento com a função específica de agir como um lubrificante seco vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de aumentar níveis de pré-carga. Um exemplo é o *DLC (Diamond-Like Carbon)*, que foi avaliado no presente trabalho, e corresponde a uma camada de 2 a 3µm de carbono vaporizado. Quanto à eficácia destes materiais existem opiniões controversas, pois ao mesmo tempo em que geram uma maior pré-carga, a diminuição do atrito não pode ser exagerada, mantendo um limite mínimo do coeficiente de fricção, representado pelo torque de remoção, o que poderia facilitar a perda da maior pré-carga gerada.⁹

Assim como o mecanismo de perda dos parafusos não é totalmente conhecido, os métodos de medida de pré-carga também geram muita controvérsia, pois com os atualmente disponíveis não é possível realizar sua medida direta, o que pode causar uma série de distorções, sendo que os mais utilizados são: compressão entre pilar e implante,^{18, 19, 20, 21} alongamento do parafuso,⁷ ângulo de rotação,^{6, 21} força necessária para abertura da união^{5, 22, 23} e análise por elementos finitos.^{11, 12, 24} Alguns autores sugerem que a medida direta do alongamento do parafuso seria a ideal, mas como atualmente não é possível clinicamente, entre as medidas indiretas, a força de compressão seria preferível ao torque de remoção e ao ângulo de rotação, estes poderiam ser utilizados apenas como indicadores indiretos desta força.²⁵

Não existe um consenso na literatura sobre o método ideal de medida. O torque de remoção amplamente utilizado pode não representar a pré-carga, mas o grau de atrito entre superfícies, ou seja, uma resistência contra a perda

da pré-carga, o que tem sua importância, mas não deve ser analisado de forma isolada.^{9, 25, 26}

Como não existe uma padronização para a avaliação de pré-carga através da medida da compressão entre pilar e implante, vários trabalhos desenvolveram dispositivos próprios, e por motivos técnicos nenhum permitiu que a mesma avaliação fosse realizada antes e depois de ciclagem mecânica, sendo a medida pós-ciclagem muitas vezes substituída pelo torque de remoção.^{27, 28, 29} Como a simulação da utilização clínica é essencial para uma melhor avaliação dos materiais, o presente trabalho propôs o desenvolvimento de um dispositivo que permitisse o monitoramento da pré-carga obtida durante a simulação de recebimento de carga funcional dos parafusos através de ciclagem mecânica.

O presente estudo teve por objetivo comparar parafusos para fixação de pilares com recobrimento de *DLC* e parafusos de titânio sem recobrimento através da medida de pré-carga e torque de remoção, além de seu monitoramento durante ciclagem mecânica. Como um segundo objetivo, temos a investigação quanto à presença de uma possível correlação entre pré-carga obtida pós-torque de apertamento dos parafusos e o torque necessário para a remoção dos mesmos.

Para este trabalho partiu-se de uma hipótese nula, ou seja, que a variação dos materiais de parafusos não teria influência nos valores de pré-carga e torque de remoção.

Material and Methods

A célula aferidora de pré-carga foi construída no Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IDEIA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, mesmo local onde foram realizados os testes.

Para este estudo *in vitro* foram utilizados 32 implantes cilíndricos do tipo parafuso auto-rosqueante de titânio comercialmente puro com hexágono externo *Titamax Ti Cortical*[®] (*Neodent*[®], Sistemas de Prótese Ltda., Curitiba, Paraná, Brasil; ref. 109.305), com 4,0mm de diâmetro (plataforma regular, *RP*), e 15,0mm de comprimento; 32 pilares transmucosos do tipo Munhão Universal (*Neodent*[®], Sistemas de Prótese Ltda., Curitiba, Paraná, Brasil; ref. 114.431) com 4,5mm de diâmetro, 6,0mm de altura e uma cinta de 1,0mm indicados para próteses unitárias cimentadas.

Para a fixação dos pilares aos implantes foram utilizados 16 parafusos sextavados de titânio (*Neodent*[®], Sistemas de Prótese Ltda., Curitiba, Paraná, Brasil; ref. 116.002) e 16 parafusos sextavados de titânio com tratamento de superfície à base de *DLC* (*Diamond-Like Carbon*) *Neotorque*[®] (*Neodent*[®], Sistemas de Prótese Ltda., Curitiba, Paraná, Brasil; ref. 116.180).

Foram fundidos 32 *copings* em liga de Níquel-Cromo (*Ni-Cr*) com superfície oclusal arredondada a partir de 32 cilindros calcináveis do Munhão Universal com 4,5mm de diâmetro por 6,0mm de altura (*Neodent*[®], Sistemas de Prótese Ltda., Curitiba, Paraná, Brasil; ref. 118.184).

Para a medida dos valores do torque de fixação e remoção foi utilizada uma chave para torquímetro sextavada de tamanho médio com 1,2mm de diâmetro (*Neodent*[®], Sistemas de Prótese Ltda., Curitiba, Brasil; ref.105.005) adaptada a um torquímetro axial digital (faixa nominal 15 a 150Ncm, resolução 0,1Ncm, modelo TSD150. Tipo I, classe E. N^o de fabricação 117317, *Torqueleader*[®]), que foi calibrado antes do experimento, encontrando-se o certificado no Anexo 2.

Para a realização dos testes foi desenvolvida uma célula de carga similar à descrita em estudos anteriores^{20, 18} capaz de medir a pré-carga produzida durante a fixação do pilar ao implante pelo registro da força de compressão entre estes através de extensômetros de resistência elétrica. A modificação principal foi o acréscimo de um motor para realizar o procedimento de ciclagem mecânica possibilitando o monitoramento da pré-carga durante todo o experimento.

Previamente à confecção da célula de carga foi realizada uma análise por elementos finitos (Figura 1) para determinar qual o metal adequado e suas dimensões para que apresentasse sensibilidade adequada ao sofrer determinada deformação em função dos prováveis valores de pré-carga. Antes da confecção da célula com motor acoplado e com 4 compartimentos distintos, foi desenvolvido um protótipo simplificado para comprovar a sensibilidade e dimensões adequadas, e realizado um procedimento piloto.

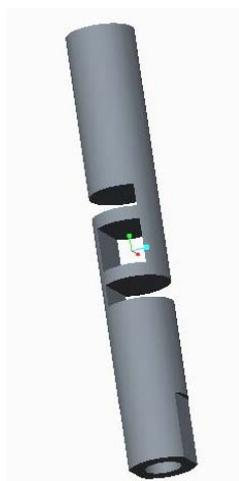


Figura 1 - Modelo de elementos finitos confeccionado para determinação de forma e tamanho da estrutura central de alumínio em forma de “S”

Os extensômetros de resistência elétrica são de Constantan (45% Ni e 44% Cu) possuindo 5mm de comprimento com resistência de 120 Ω e foram

fixados ao corpo de alumínio em formato de “S” na região interna da célula com cola de cianoacrilato (Figuras 1, 2 e 3). Uma vez realizado o torque de aperto, os extensômetros realizam a medição indireta dos valores de pré-carga a partir da deformação gerada no alumínio onde os mesmos estão fixados.

Essas deformações geram uma pequena variação nos extensômetros que é amplificada por um amplificador de instrumentação AD623[®] (Analog Devices Corporate Headquarters, Norwood, USA) de modo que sem carga aplicada na célula, a tensão de saída do amplificador fica em 2,56V, mas quando o torque é aplicado, esta tensão de saída diminui. Os valores de pré-carga foram medidos pelos extensômetros em volts (V) e posteriormente convertidos para Newtons (N).

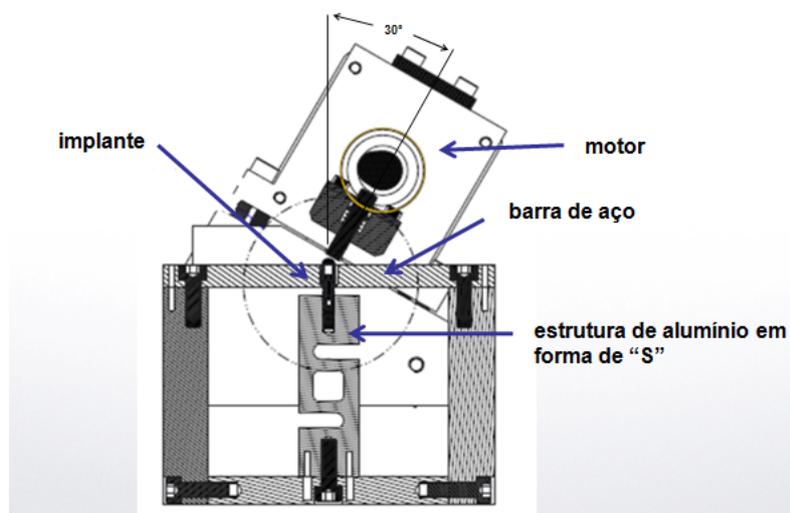


Figura 2 - Desenho esquemático da região interna da célula aferidora de pré-carga

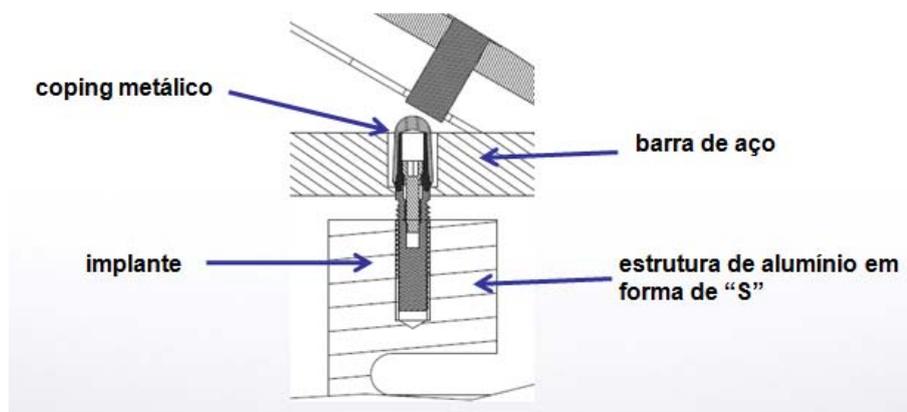


Figura 3 - Vista detalhada do corpo de prova posicionado na célula aferidora de pré-carga

Após esta amplificação, o sinal é adquirido por uma placa microcontrolada, utilizando o microcontrolador ATmega2560[®] (Atmel Corporation, San José, California, USA), que possui um conversor analógico/digital de 10 bits de resolução. A tensão de referência do conversor foi ajustada para 2,56V, de modo que a saída do amplificador de instrumentação represente o fundo de escala do conversor analógico/digital.

O equipamento é composto por uma célula de carga com 4 estruturas similares em forma de “S” fabricadas em alumínio naval (AL5083) fixadas a estruturas de aço ABNT 1045. O implante é fixado na estrutura de alumínio enquanto o pilar é fixado em uma região superior a uma barra de aço inoxidável que restringe sua passagem, permitindo que a célula de carga deforme no momento do torque quando o implante/estrutura de alumínio são puxados para cima, gerando a pré-carga (Figuras 2 e 3).

Em uma estrutura desmontável localizada superiormente à descrita anteriormente foi posicionado o motor de passo (A16K-M569 de 5 fases, torque máximo 1,66Nm, Autonics[®], São Paulo, Brasil), monitorado pelo seu Driver (MD5-HF14-A, Autonics[®], São Paulo, Brasil) que possibilitou a ciclagem mecânica (Figuras 4, 5, 6).

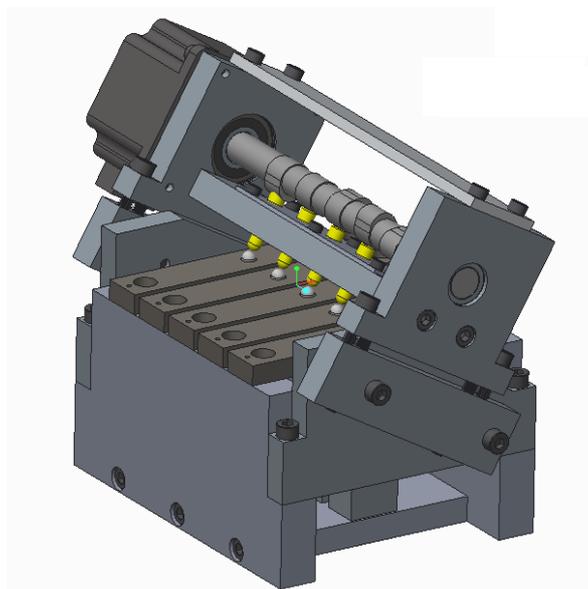


Figura 4 - Desenho da vista externa da célula aferidora de pré-carga



Figura 5 - Vista lateral da célula aferidora de pré-carga e driver do motor

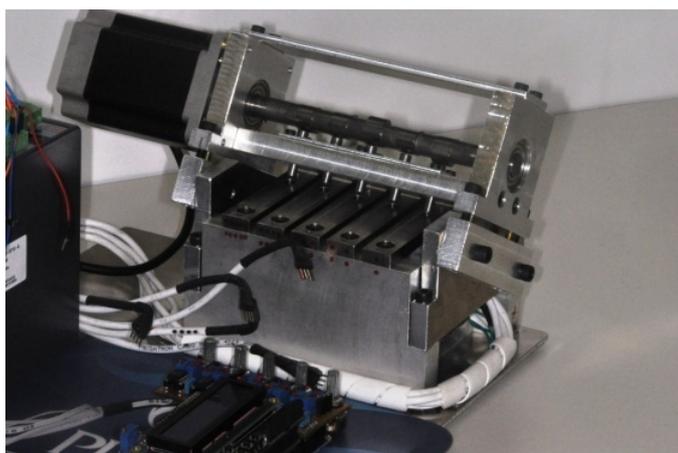


Figura 6 - Vista frontal da célula aferidora de pré-carga

Assim foi possível realizar a comparação da pré-carga antes e depois da ciclagem pelo mesmo método, e sem a necessidade de movimentação ou remoção do parafuso por aplicação de torque de remoção. Também foi registrado o torque de remoção nestes dois momentos.

Previamente ao início dos experimentos, procedeu-se a calibragem da célula aferidora da pré-carga. Para a realização da medição da força em newtons (N) aplicada no implante, a célula de carga foi arranjada de modo a permitir que fossem afixadas massas previamente pesadas (em kg) em balança de precisão. A célula foi posicionada com sua porção superior para baixo e as massas foram fixadas de modo a tracionar o implante alocado em seu interior. Assim, utilizando os valores das massas suspensas (em kg) e os

valores gerados na célula pelas mesmas (em volts), foi gerada uma curva de calibração.

Sabe-se que, durante o procedimento, os valores gerados em volts pelos extensômetros podem corresponder a diferentes valores de peso. Sendo assim, torna-se necessário a utilização das massas para calibração antes de executar as mensurações do experimento, uma vez que o valor que será utilizado para conversão será em Newtons, e não os valores obtidos originalmente em volts.

Para realizar a calibração, a célula de carga foi conectada a uma placa responsável pelo condicionamento do sinal lido pelo conversor analógico/digital do microcontrolador. Estes valores foram convertidos segundo a função de transferência obtida pela calibração e mostrados em Newtons no display da placa microcontrolada.

Para a realização do experimento a amostra anteriormente descrita foi dividida em 2 grupos conforme o material do parafuso. Cada grupo formado por 16 corpos de prova compostos de forma aleatória por: implante, parafuso para fixação de pilares, pilar e *coping* metálico. Os pilares do grupo 1 foram fixados aos implantes pelos parafusos de titânio e os do grupo 2 pelos parafusos de titânio com recobrimento de *DLC*.

A célula aferidora de pré-carga permitiu o teste de 4 conjuntos ao mesmo tempo. Primeiramente posicionou-se os 4 primeiro implantes do grupo 1 deixando-se 2 espiras expostas para simulação de uma habitual saucerização óssea presente em regiões cervicais dos implantes. Com a utilização de um torquímetro digital e uma chave sextavada adaptada ao mesmo, o primeiro pilar foi fixado ao implante com um parafuso de titânio pelo torque recomendado pelo fabricante (32Ncm). Após 5 minutos sofreu novo aperto com o mesmo torque para compensar o relaxamento inicial estabilizando o valor da pré-carga¹⁸ e após mais 5 minutos foi registrada a pré-carga inicial. Neste instante o parafuso foi removido e registrado o valor de torque de remoção correspondente à pré-carga com o mesmo torquímetro digital utilizado na fixação.

O mesmo parafuso sofreu uma nova fixação seguindo o mesmo protocolo descrito anteriormente registrando-se um segundo valor de pré-carga e torque de remoção. Posteriormente este parafuso sofreu uma terceira fixação e foi registrado o valor de pré-carga pré-ciclagem sem remoção do parafuso, pois foi posicionado o *coping* metálico preparando a amostra para o procedimento de ciclagem mecânica. O mesmo procedimento foi repetido para outros 3 conjuntos do grupo 1.

As 4 amostras iniciais receberam 1.000.000 de ciclos com frequência de 2 ciclos por segundo (2Hz) e uma força de 85N aplicada a 2mm de distância do centro do implante com uma inclinação de 30° (conforme ISO 14.801³⁰), simulando uma força excêntrica, sendo que este número de ciclos equivale a 1 ano de função mastigatória.^{31,32} Os ciclos foram do tipo regular, ou seja,

repetitivos com todas as características constantes, e os valores de pré-carga foram registrados a cada 200.000 ciclos.

Após 1.000.000 de ciclos foi registrada a pré-carga pós-ciclagem e neste mesmo instante foi também medido o torque de remoção pós-ciclagem. Posteriormente ao procedimento de ciclagem mecânica cada parafuso sofreu mais 5 fixações/remoções seguindo o protocolo inicial e registrados os valores de pré-carga e torque de remoção correspondentes.

Após a célula de carga foi desmontada para o posicionamento de 4 implantes do grupo 2 com a fixação dos pilares sendo realizada pelos parafusos de titânio com recobrimento de *DLC* e sofreram os mesmos procedimentos do grupo 1. Posteriormente os grupos foram testados de forma intercalada a cada 4 amostras até se completar 16 de cada grupo.

As análises estatísticas foram realizadas pelo software *SPSS*[®] versão 20.0 (*SPSS*[®] Inc., Chicago, IL) a um nível de significância de 5%.

Primeiramente os dados foram submetidos ao teste de normalidade *Kolmogorov-Smirnov*. Para a comparação das médias de pré-carga para os 2 grupos unindo as 7 fixações (2 antes e 5 após ciclagem) foi utilizado o teste não-paramétrico *Mann-Whitney - U*, enquanto que para os valores de torque de remoção foi utilizado o teste paramétrico *t* de *Student* dada a distribuição normal dos valores encontrados. A correlação entre torque de remoção e pré-carga em cada grupo foi avaliada pelo teste de correlação de *Pearson*.

Para a avaliação das médias de pré-carga dos 2 grupos nos diferentes estágios de ciclagem mecânica foi utilizada a análise de variância ANOVA e posteriormente o teste de Tukey já que estes dados apresentaram normalidade (Anexos 3 a 6). Para a avaliação do torque de remoção e da pré-carga pós-ciclagem (sem repetição de fixações) foi utilizado o teste *t* de *Student*.

Results

Considerando as 7 fixações/remoções (2 antes e 5 depois da ciclagem) os 2 grupos apresentaram diferenças significativas ($p < 0,001$) tanto para os valores de pré-carga quanto para os de torque de remoção.

A pré-carga média para os parafusos de titânio (Grupo 1) foi $269,98 \pm 91,93$ N enquanto os parafusos de titânio com recobrimento de *DLC* (Grupo 2) apresentaram uma média de $336,06 \pm 101,54$ N (Tabela 1).

Em relação ao torque de remoção os parafusos de titânio apresentaram uma média de $26,41 \pm 2,94$ Ncm e os de titânio com recobrimento de *DLC* $24,03 \pm 2,51$ Ncm (Tabela 1).

	PARAFUSOS DE TITÂNIO N=112 MÉDIA (DESVIO PADRÃO)	PARAFUSOS DE TITÂNIO COM RECOBRIMENTO DE <i>DLC</i> N=112 MÉDIA (DESVIO PADRÃO)	VALOR DE p
PRÉ-CARGA (N)	269,98 (91,93)	336,06 (101,54)	<0,001
TORQUE DE REMOÇÃO (Ncm)	26,41 (2,94)	24,03 (2,51)	<0,001

Tabela 1 - Média da pré-carga e torque de remoção

Foi observada uma fraca correlação entre a pré-carga e o torque de remoção dentro dos grupos durante as 7 fixações, sendo que para os parafusos de titânio foi de 0,061 e para os de titânio com tratamento de superfície 0,259 (Tabela 2).

	PARAFUSOS DE TITÂNIO (PRÉ-CARGA X TORQUE DE REMOÇÃO)	PARAFUSOS DE TITÂNIO COM RECOBRIMENTO DE <i>DLC</i> (PRÉ-CARGA X TORQUE DE REMOÇÃO)
COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON	0,061	0,259

Tabela 2 - Teste de Correlação de Pearson entre pré-carga e torque de remoção para os 2 grupos

Após 1.000.000 de ciclos as diferenças não foram significativas nos 2 grupos, assim como entre períodos de 200.000 ciclos. Foi observada uma redução nos valores de pré-carga entre a medida pré-ciclagem e os 200.000 ciclos nos 2 grupos, mas também não significativa.

Os parafusos de titânio apresentaram uma média de $262,08 \pm 80,50\text{N}$ no momento da fixação dos parafusos (pré-ciclagem), e só foi observada uma redução substancial no período de 200.000 ciclos com uma média de $221,89 \pm 76,54\text{N}$, representando uma redução de 15,34%, porém não significativa, permanecendo constante até o final da ciclagem mecânica (Tabela 3; Figura 7).

	N	PRÉ-CARGA MÉDIA (N)	DESVIO- PADRÃO (N)	MÍNIMO (N)	MÁXIMO (N)	VALOR DE p
PRÉ-CICLAGEM	16	262,08	80,50	183,7	435,60	,700
200.000	16	221,89	76,54	150,24	394,01	,700
400.000	16	218,66	75,09	146,62	399,29	,700
600.000	16	221,22	77,93	140,54	395,99	,700
800.000	16	223,43	77,75	141,31	406,55	,700
1.000.000	16	219,41	77,68	136,66	406,55	,700
PÓS-CICLAGEM	16	219,68	85,16	138,50	418,80	,700
TOTAL	112	226,62	77,95	136,66	435,60	

Tabela 3 - Média dos valores de pré-carga durante os períodos de ciclagem para os parafusos de titânio

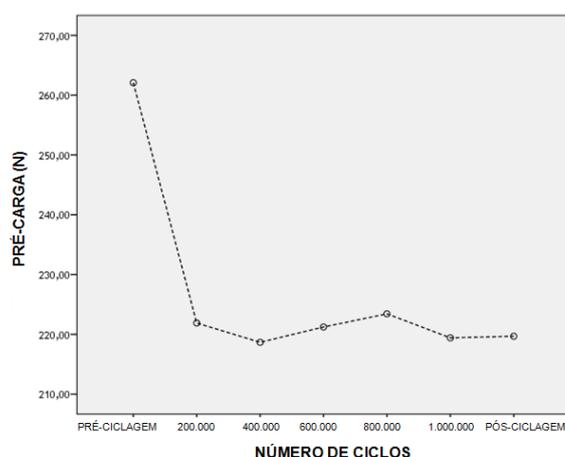


Figura 7 - Gráfico da média dos valores de pré-carga durante os períodos de ciclagem para os parafusos de titânio

Para os parafusos de titânio com recobrimento de *DLC* se observou uma média de $339,26 \pm 93,15\text{N}$ no momento pré-ciclagem e também se observou uma redução substancial, mas não significativa no período de 200.000 ciclos ($291,92 \pm 86,34\text{N}$), representando uma redução de 13,96%, similar aos parafusos de titânio (15,34%) e permanecendo constante até o final da ciclagem mecânica (Tabela 4; Figura 8).

	N	PRÉ-CARGA MÉDIA (N)	DESVIO-PADRÃO (N)	MÍNIMO (N)	MÁXIMO (N)	VALOR DE p
PRÉ-CICLAGEM	16	339,26	93,15	230,50	555,80	,720
200.000	16	291,92	86,34	203,40	500,93	,720
400.000	16	291,83	92,50	191,01	522,71	,720
600.000	16	288,34	93,15	186,35	529,31	,720
800.000	16	293,16	90,37	187,13	518,09	,720
1.000.000	16	292,27	93,54	178,20	514,79	,720
PÓS-CICLAGEM	16	293,74	94,32	186,10	522,80	,720
TOTAL	112	298,65	90,98	178,20	555,80	

Tabela 4 - Média dos valores de pré-carga durante os períodos de ciclagem para os parafusos de titânio com recobrimento de *DLC*

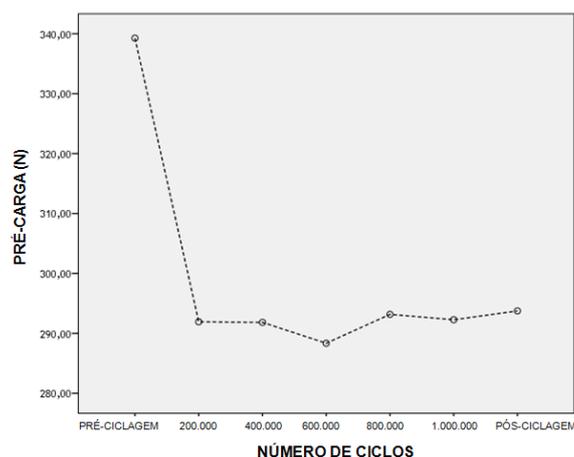


Figura 8 - Gráfico da média dos valores de pré-carga durante os períodos de ciclagem para os parafusos de titânio com recobrimento de *DLC*

Quanto à pré-carga pós-ciclagem, os parafusos de titânio com recobrimento de *DLC* apresentaram uma média de $293,74 \pm 94,32\text{N}$ e os de titânio $219,68 \pm 85,16\text{N}$ com diferenças significativas (Tabela 5).

Em relação ao torque de remoção pós-ciclagem, correspondente a uma única fixação de cada parafuso no preparo para a ciclagem mecânica, não foram observadas diferenças significativas entre grupos. Os parafusos de titânio com recobrimento de *DLC* apresentaram uma média de $19,81 \pm 3,47$ Ncm e os de titânio $17,93 \pm 3,59$ Ncm (Tabela 5).

	PARAFUSOS DE TITÂNIO N=16	PARAFUSOS DE TITÂNIO COM RECOBRIMENTO DE <i>DLC</i> N=16	VALOR DE p
	MÉDIA (DESVIO PADRÃO)	MÉDIA (DESVIO PADRÃO)	
PRÉ-CARGA PÓS- CICLAGEM (N)	219,68 (85,16)	293,74 (94,32)	<0,05
TORQUE DE REMOÇÃO PÓS- CICLAGEM (Ncm)	17,93 (3,59)	19,82 (3,47)	0,141

Tabela 5 - Média dos valores de pré-carga e torque de remoção pós-ciclagem

Discussion

Em função dos frequentes afrouxamentos e/ou fraturas de parafusos para fixação de pilares, este trabalho avaliou a pré-carga medindo a compressão entre pilar e implante por extensometria, e ao nosso conhecimento foi o primeiro trabalho que monitorou este valor durante ciclagem mecânica sem que a união pilar/implante fosse rompida.

Como não existe um consenso sobre o melhor método de avaliação da pré-carga optou-se pela medida da compressão entre pilar e implante com a utilização de extensômetros, pois é considerada a medida indireta mais fiel,^{18, 19, 20, 21} já que o torque de remoção amplamente utilizado pode não medir a pré-carga, mas o atrito entre superfícies, sendo medidas diferentes. Por esse motivo o presente trabalho também procurou estabelecer uma correlação entre métodos, à qual verificou-se baixa, sugerindo a impossibilidade de determinação real da pré-carga através de torque de remoção.

Para que a avaliação proposta fosse possível, foi desenvolvida uma célula de carga que além de medir a pré-carga, teve acoplado um motor que possibilitou a ciclagem mecânica dos conjuntos analisados, permitindo de forma inédita que as variações de pré-carga pudessem ser avaliadas pelo mesmo método antes, durante e após a ciclagem mecânica.

O coeficiente de fricção entre superfícies tem importante influência nos valores de pré-carga, pois quanto menor a fricção, maior será a pré-carga obtida.^{7, 12, 13} O mesmo conceito se aplica durante a repetição de fixações do mesmo parafuso, quando a fricção entre roscas é maior durante a primeira fixação e diminui após repetidas fixações, o que aumentaria a pré-carga produzida pela aplicação do mesmo torque.

Para esclarecer a relação entre pré-carga e torque de remoção este trabalho teve por objetivo registrar estes valores no mesmo momento. Em valores absolutos se observou que os maiores valores de pré-carga estavam relacionados aos menores valores de torque de remoção, correspondentes aos parafusos de titânio com recobrimento de *DLC* ($336,06 \pm 101,54\text{N}$; $24,03 \pm 2,51\text{Ncm}$), em relação aos de titânio ($269,98 \pm 91,93\text{N}$; $26,41 \pm 2,94\text{Ncm}$). São raros os trabalhos que realizaram a comparação entre métodos, mas este resultado está de acordo com outro trabalho²⁰ que registrou a mesma relação inversa entre resultados para os parafusos de ouro ($131,72 \pm 8,98\text{N}$; $17,64 \pm 1,12\text{Ncm}$) e titânio ($37,03 \pm 5,69\text{N}$; $18,75 \pm 1,89\text{Ncm}$) para os valores de pré-carga e torque de remoção respectivamente.

Em função destes resultados, a hipótese nula foi rejeitada, ou seja, a variação dos materiais teve influência tanto nos valores de pré-carga quanto para os de torque de remoção.

Quando submetidos ao teste de correlação de Pearson foi encontrada uma fraca correlação entre pré-carga e torque de remoção tanto para os parafusos de titânio quanto para os de titânio com recobrimento de *DLC* o que está de acordo com autores que não consideram o torque de remoção um método aplicável para mensurar pré-carga, ou até como descrito por fórmulas matemáticas, onde os valores de torque de remoção seriam inversamente proporcionais aos da pré-carga.^{6, 9, 11, 25, 33}

Em relação à comparação entre materiais o recobrimento com *DLC* para diminuir a fricção entre superfícies e aumentar a pré-carga apresentou-se eficiente, produzindo uma média de pré-carga de $336,06 \pm 101,54\text{N}$ contra $269,98 \pm 91,93\text{N}$ para os parafusos de titânio convencionais, o que está de acordo com outro estudo, que registrou $37,03 \pm 5,69\text{N}$ para os parafusos de titânio, $97,78 \pm 4,68\text{N}$ para os de titânio com tratamento de superfície e $131,72 \pm 8,98\text{N}$ para os de ouro,²⁰ que teoricamente possuem menor coeficiente de fricção, também concordando com outros estudos que registraram maiores valores para os parafusos de ouro e titânio com tratamento de superfície em relação aos de titânio.^{6, 7, 21}

Quanto ao desenvolvimento de tratamentos de superfície com objetivo de diminuir o coeficiente de fricção e aumentar a pré-carga, deve ser previsto que uma determinada combinação de materiais não irá resultar em um torque de remoção extremamente baixo. Assim, uma razão torque de remoção/pré-carga racional deve ser obtida utilizando um material de recobrimento com coeficiente de fricção dentro de um limite mínimo aceitável, a ser determinado por testes específicos.⁹

Por impossibilidade técnica dos diferentes aparatos utilizados nos trabalhos acima citados, nenhum permitiu que a mesma avaliação de pré-carga pela compressão entre pilar e implante fosse realizada após ciclagem mecânica, por isso são frequentes os trabalhos que supostamente avaliam a pré-carga após ciclagem mecânica utilizem apenas o torque de remoção.^{8, 16, 17, 27, 28, 29, 32, 34, 35, 36, 37}

Apesar das diferenças significativas entre materiais nos valores de pré-carga e torque de remoção, não foram verificadas perdas de valores significativos após 1.000.000 de ciclos, o que representaria aproximadamente 1 ano de função clínica,^{31, 32} e ainda sem nenhuma falha mecânica de afrouxamento/fratura de parafusos durante os testes.

Ao nosso conhecimento, não existe uma padronização ideal descrita na literatura em relação a um protocolo de fixação de parafusos. Sendo assim, no presente estudo foi aplicado um novo torque de apertamento 5 minutos após a primeira fixação, sendo que os valores de pré-carga só foram registrados após mais 5 minutos de espera, para que o sistema se estabilizasse em função de uma possível acomodação/relaxamento inicial entre componentes.^{14, 18} Em um trabalho que utilizou extensômetros para avaliação da perda da pré-carga ao longo do tempo sem a incidência de cargas funcionais, os autores relataram que após 15 horas 24,9% da pré-carga inicial foi perdida, sendo 29,5% desta perda nos 2 segundos iniciais e 40,2% após 10 segundos de fixação. Em outro estudo, parafusos que durante sua fixação tiveram o torque mantido por 20 e 30 segundos apresentaram maiores valores de torque de remoção que os mantidos por 10 segundos ou que sofreram avaliação imediata³⁷, corroborando com a necessidade de repetição do torque inicial após um período de acomodação.

Conclusions

Este trabalho demonstrou que os parafusos de titânio com recobrimento de *DLC (Diamond-Like Carbon)* produzem os maiores valores de pré-carga e os menores de torque de remoção, e foi encontrada baixa correlação entre estas duas medidas distintas, sugerindo que ambas avaliam características diferentes dos mesmos materiais. Apesar das diferenças significativas nos valores de pré-carga e torque de remoção entre os dois grupos, não foram encontradas diferenças significativas quanto à perda de pré-carga após 1.000.000 de ciclos. Os parafusos de titânio recobertos por *DLC* apresentaram os maiores valores de pré-carga pós-ciclagem (com diferenças significativas em relação aos parafusos de titânio), assim como os maiores valores de torque de remoção pós-ciclagem, mas sem diferenças significativas.

Acknowledgments

À empresa Neodent pela colaboração com o material de insumo, e à ajuda financeira do PROBOLSAS (Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul Master and PhD Scholarship Program). Os autores relatam nenhum conflito de interesses na realização do presente estudo.

References

1. Zarb GA, Schmitt A. The longitudinal clinical effectiveness of osseointegrated dental implants: The Toronto study. Part II: The prosthetic results. *J Prosthet Dent* 1990;64:53-61.
2. Zarb GA, Schmitt A. The longitudinal clinical effectiveness of osseointegrated dental implants: The Toronto study. Part III: Problems and complications encountered. *J Prosthet Dent* 1990;64:185-94.
3. Jemt T. Failures and complications in 391 consecutively inserted fixed prostheses supported by Brånemark implants in edentulous jaws: A study of treatment from the time of prosthesis placement to the first annual checkup. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1991;6:270-6.
4. Carr AB, Brunski JB, Hurley E. Effects of fabrication, finishing, and polishing procedures on preload in prostheses using conventional 'gold' and plastic cylinders. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1996;11:589-98.
5. Hoyer SA, Stanford CM, Buranadham S, Fridrich T, Wagner J, Gratton D. Dynamic fatigue properties of the dental implant-abutment interface: Joint opening in wide-diameter versus standard-diameter hex-type implants. *J Prosthet Dent* 2001;85:599-607.
6. Martin WC, Woody RD, Miller BH, Miller AW. Implant abutment screw rotations and preloads for four different screw materials and surfaces. *J Prosthet Dent* 2001;86:24-32.
7. Haack JE, Sakaguchi RL, Sun T, Coffey JP. Elongation and preload stress in dental implant abutment screws. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1995;10:529-36.
8. Piermatti J, Yousef H, Luke A, Mahevich R, Weiner S. An *in vitro* analysis of implant screw torque loss with external hex and internal connection implant systems. *Implant Dent* 2006;15:427-35.
9. Elias CN, Figueira DC, Rios PR. Influence of the coating material on the loosening of dental implant abutment screw joints. *Mater Sci Eng* 2006;26:1361-6.

10. Al Rafee MA, Nagy WW, Fournelle RA, Dhuru VB, Tzenakis GK, Pechous CE. The effect of repeated torque on the ultimate tensile strength of slotted gold prosthetic screws. *J Prosthet Dent* 2002;88:176-182.
11. Lang LA, Kang B, Wang RF, Lang BR. Finite element analysis to determine implant preload. *J Prosthet Dent* 2003;90:539-46.
12. Guda T, Ross TA, Lang LA, Millwater HR. Probabilistic analysis of preload in the abutment screw of a dental implant complex. *J Prosthet Dent* 2008;100:183-93.
13. Assunção WG, Delben JA, Tabata LF, Barão VAR, Gomes EA, Garcia IR. Preload evaluation of different screws in external hexagon joint. *Implant Dent* 2012;21:46-50.
14. Cantwell A, Hobkirk JA. Preload loss in gold prosthesis-retaining screws as a function of time. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19:124-32.
15. Weiss EI, Kozak D, Gross MD. Effect of repeated closures on opening torque values in seven abutment-implant systems. *J Prosthet Dent* 2000;84:194-9.
16. Assunção WG, Barão VAR, Delben JA, Gomes EA, Garcia IR. Effect of unilateral misfit on preload of retention screws of implant-supported prostheses submitted to mechanical cycling. *J Prosthodontic Res* 2011;55:12-8.
17. Jorge JRP, Barão VAR, Delben JA, Assunção WG. The role of implant/abutment system on torque maintenance of retention screws and vertical misfit of implant-supported crowns before and after mechanical cycling. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013;28:415-22.
18. Tzenakis GK, Nagy WW, Fournelle RA, Dhuru VB. The effect of repeated torque and salivary contamination on the preload of slotted gold implant prosthetic screws. *J Prosthet Dent* 2002;88:183-91.
19. Byrne D, Jacobs S, O'Connell B, Houston F, Claffey N. Preloads generated with repeated tightening in three types of screws used in dental implant assemblies. *J Prosthodont* 2006;15:164-71.
20. Stüker RA, Teixeira ER, Beck JCP, Costa NP da. Preload and torque removal evaluation of three different abutment screws for single standing implant restorations. *J Appl Oral Sci* 2008;16:55-8.
21. Park JK, Choi JU, Jeon YC, Choi KS, Jeong CM. Effects of abutment screw coating on implant preload. *J Prosthodont* 2010;19:458-64.
22. Tan BF, Tan KB, Nicholls JI. Critical bending moment of implant-abutment screw joint interfaces: Effect of torque levels and implant diameter. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19:648-58.

23. Lee FK, Tan KB, Nicholls JI. Critical bending moment of four implant-abutment interface designs. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010;25:744-51.
24. Wang RF, Kang B, Lang LA, Razzoog ME. The dynamic natures of implant loading. *J Prosthet Dent* 2009;101:359-71.
25. Hagiwara M, Ohashi N. A new tightening technique for threaded fasteners. *J Offshore Mech Arct Eng* 1994;116:64-9.
26. Guzaitis KL, Knoernschild KL, Viana MAG. Effect of repeated screw joint closing and opening cycles on implant prosthetic screw reverse torque and implant and screw thread morphology. *J Prosthet Dent* 2011;106:159-69.
27. Delben JA, Gomes EA, Barão VAR, Assunção WG. Evaluation of the effect of retightening and mechanical cycling on preload maintenance of retention screws. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2011;26:251-6.
28. Vianna CA, Delben JA, Barão VAR, Ferreira MB, Santos PH, Assunção WG. Torque stability of different abutment screws submitted to mechanical cycling. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2013;28:e209-e214.
29. Villarinho EA, Cervieri A, Shinkai RSA, Grossi ML, Teixeira ER. The effect of a positioning index on the biomechanical stability of tapered implant-abutment connections. *J Oral Implantol* 2015;41:139-43.
30. The International Organization for Standardization. ISO 14.801 - Dentistry - Implants - Dynamic fatigue test for endosseous dental implants. 2007(e).
31. Lee J, Kim YS, Kim CW, Han JS. Wave analysis of implant screw loosening using an air cylindrical cyclic loading device. *Prosthet Dent* 2002;88:402-8.
32. Khraisat A, Hashimoto A, Nomura S, Miyakawa O. Effect of lateral cyclic loading on abutment screw loosening of an external hexagon implant system. *J Prosthet Dent* 2004;91:326-34.
33. Dziejczak DSM, Nhata J, Jamcoski VH, Dziejczak M. Assessment of preload in carbon coated prosthetic screws. *RSBO* 2012;9:137-42.
34. Coppedê AR, Mattos MGC, Rodrigues RCS, Ribeiro RF. Effect of repeated torque/mechanical loading cycles on two different abutment types in implants with internal tapered connections: an *in vitro* study. *Clin Oral Impl Res* 2009;20:624-32.
35. Delben JA, Barão VAR, Santos PH, Assunção WG. Influence of abutment type and esthetic veneering on preload maintenance of abutment screw of implant-supported crowns. *J Prosthodont* 2014;23:134-9.
36. Basílio MA, Butignon LE, Filho JNA. Effectiveness of screw surface coating on the stability of zirconia abutments after cyclic loading. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:1061-7.

37. Kim SK, Koak JY, Heo SJ, Taylor TD, Ryoo S, Lee SY. Screw loosening with interchangeable abutments in internally connected implants after cyclic loading. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:42-7.

38. Sella GC, Neto ARLP, Volpato CAM, Vasconcellos DK, Pekkan G, Özcan M. Influence of different maintenance times of torque application on the removal torque values to loosen the prosthetic abutment screws of external hexagon implants. *Implant Dent* 2013;22:534-9.

3. DISCUSSÃO

Visando esclarecer algumas questões mecânicas em função das frequentes falhas de afrouxamento e/ou fratura de parafusos para fixação de pilares, este trabalho avaliou a pré-carga medindo a compressão entre pilar e implante por extensometria, e ao nosso conhecimento foi o primeiro trabalho que monitorou este valor durante simulação da mastigação através de ciclagem mecânica sem que a união pilar/implante fosse aberta.

Para que este teste seja possível foi desenvolvida uma célula de carga que mediu a compressão entre pilar e implante por extensometria acoplada a um motor que possibilitou a ciclagem mecânica.

Com os métodos atualmente disponíveis não é possível realizar a medida direta da pré-carga, o que pode causar uma série de distorções, sendo que os mais utilizados são: compressão entre pilar e implante (TZENAKIS *et al.*, 2002; BYRNE *et al.*, 2006; STÜKER *et al.*, 2008; PARK *et al.*, 2010; BERNARDES *et al.*, 2014), alongamento do parafuso (HAACK *et al.*, 1995), ângulo de rotação do parafuso (ROBB, PORTER, 1998; MARTIN *et al.*, 2001; PARK *et al.*, 2010), força necessária para abertura da união (HOYER *et al.*, 2001; TAN, TAN, NICHOLLS, 2004; LEE, TAN, NICHOLLS, 2010) e análise por elementos finitos (LANG *et al.*, 2003; GUDA *et al.*, 2008; WANG *et al.*, 2009). Alguns autores sugerem que a medida do alongamento do parafuso representaria a pré-carga, mas entre as medidas indiretas, a força de compressão entre pilar e implante seria preferível ao torque de remoção e ângulo de rotação (HAGIWARA, OHASHI, 1994; LANG *et al.*, 2003).

Não existe um consenso na literatura sobre o método de medida ideal para a pré-carga. O torque de remoção amplamente utilizado pode não representar a pré-carga, mas o grau de atrito entre superfícies, ou seja, uma resistência contra a perda da pré-carga, o que tem sua importância, mas não

deve ser analisado de forma isolada (HAGIWARA, OHASHI, 1994; ELIAS, FIGUEIRA, RIOS, 2006; GUZAITIS, KNOERNSCHILD, VIANA, 2011).

O coeficiente de fricção tem relação direta com a pré-carga. Alguns autores descrevem que 90% da energia do torque é utilizada para alisar irregularidades das superfícies em contato e apenas 10% para o alongamento do parafuso e produção da pré-carga. A fricção entre roscas é maior durante a primeira fixação, diminuindo após repetições de fixações, o que aumentaria a pré-carga produzida para o mesmo torque. Conceito que poderia indicar a reutilização de parafusos até um limite aceitável, mas na literatura existem opiniões conflitantes sobre o assunto. Com o intuito de diminuir a fricção entre superfícies algumas marcas comerciais diminuíram a dureza das roscas ou modificaram o tratamento de superfície adicionando lubrificantes (HAACK *et al.*, 1995; GUDA *et al.*, 2008; ASSUNÇÃO *et al.*, 2012).

Durante a confecção de uma prótese sobre implante o sistema sofre diversas fixações antes de sua finalização, como dos componentes de moldagem e os procedimentos de prova. Em um trabalho onde foram realizadas 40 fixações com o mesmo parafuso concluíram através do torque de remoção que após 10 repetições um novo parafuso deve ser utilizado (GUZAITIS, KNOERNSCHILD, VIANA, 2011), em concordância com outros trabalhos que apresentaram diminuição dos valores de torque de remoção depois de repetidas fixações (WEISS, KOZAK, GROSS, 2000; COPPEDÊ *et al.*, 2009; CARDOSO *et al.*, 2012).

Em outra pesquisa semelhante, as avaliações foram contrastantes ao trabalho anterior, pois neste trabalho o torque de remoção foi utilizado em uma fórmula matemática para o cálculo da pré-carga sendo considerados inversamente proporcionais (DZIEDZIC *et al.*, 2012), fórmula que também foi utilizada em outros trabalhos (HAGIWARA, OHASHI, 1994; MARTIN *et al.*, 2001; LANG *et al.*, 2003). Após 10 ciclos de fixações/remoções também observaram uma tendência de diminuição dos torques de remoção com o aumento de repetições, sendo que os parafusos de titânio com uma película a base de carbono apresentaram os menores torques de remoção em relação

aos de titânio pelo seu menor coeficiente de fricção, e conseqüentemente, como resultado do cálculo matemático uma maior pré-carga. Ao contrário do trabalho anterior, a pré-carga e não o torque de remoção seria o fator mais importante para se obter uma maior longevidade, indicando a repetição do mesmo parafuso, em concordância com outro trabalho que observou um aumento da pré-carga ao avaliar a compressão entre pilar e implante por extensometria após repetições com o mesmo parafuso (TZENAKIS *et al.*, 2002).

No presente trabalho foi avaliado o recobrimento dos parafusos de fixação com *DLC*, que corresponde a uma camada de 2 a 3 μ m de carbono vaporizado. Martin *et al.* (2001) relataram que após repetidas fixações a diminuição do torque de remoção ocorre até um determinado momento em que ele passa a aumentar, possivelmente pela perda do lubrificante e contato direto entre metais, aumentando a fricção.

Com o objetivo de esclarecer a relação entre coeficiente de fricção e pré-carga, este estudo registrou o valor de pré-carga e torque de remoção no mesmo momento. Em valores absolutos se observou que os maiores valores de pré-carga estavam relacionados aos menores valores de torque de remoção, correspondentes aos parafusos de titânio com tratamento de superfície (336,06 \pm 101,54N; 24,03 \pm 2,51Ncm), que com um menor coeficiente de fricção em relação aos de titânio (269,98 \pm 91,93N; 26,41 \pm 2,94Ncm) permitem que maior parte do torque aplicado seja convertido em pré-carga. São raros os trabalhos que realizaram a comparação entre métodos, mas este resultado está de acordo com Stüker *et al.* (2008) que observaram a mesma relação entre parafusos de ouro (131,72 \pm 8,98N; 17,64 \pm 1,12Ncm) e titânio (37,03 \pm 5,69N; 18,75 \pm 1,89Ncm) para os valores de pré-carga e torque de remoção respectivamente.

Quando submetidos ao teste de correlação de Pearson foi encontrada uma fraca correlação entre pré-carga e torque de remoção tanto para os parafusos de titânio quanto para os de titânio com tratamento de superfície, que está de acordo com autores que não consideram o torque de remoção uma

medida de pré-carga, ou até como descrito por fórmulas matemáticas, comparando parafusos com dimensões semelhantes o torque de remoção seria inversamente proporcional à pré-carga (HAGIWARA, OHASHI, 1994; MARTIN *et al.*, 2001; LANG *et al.*, 2003; ELIAS, FIGUEIRA, RIOS, 2006; DZIEDZIC *et al.*, 2012). Sugerindo-se que em futuras avaliações de materiais de parafusos sejam realizadas com a combinação dos dois métodos, o torque de remoção que representa a fricção e outro que avalie a pré-carga, e trabalhos que utilizem apenas o torque de remoção esclareçam que somente a fricção está sendo avaliada, e que a pré-carga produzida, possivelmente apresente resultados diferentes.

Em relação à comparação de materiais, o recobrimento com *DLC* mostrou-se eficiente, produzindo uma média de pré-carga de $336,06 \pm 101,54\text{N}$ contra $269,98 \pm 91,93\text{N}$ para os parafusos de titânio, o que está de acordo com outros trabalhos, como Stüker *et al.*, 2008 que registraram $37,03 \pm 5,69\text{N}$ para os parafusos de titânio, $97,78 \pm 4,68\text{N}$ para os de titânio com tratamento de superfície e os parafusos de ouro, que teoricamente possuem o menor coeficiente de fricção $131,72 \pm 8,98\text{N}$, assim como Haack *et al.*, 1995; Martin *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2010 que também registraram maiores valores de pré-carga para os parafusos de ouro e titânio com tratamento de superfície em relação aos de titânio.

Por impossibilidades técnicas dos diferentes aparatos utilizados nos trabalhos acima citados, nenhum permitiu que a mesma avaliação de pré-carga pela compressão entre pilar e implante fosse realizada após ciclagem mecânica, semelhante a outros trabalhos que supostamente avaliam a pré-carga após ciclagem mecânica, mas utilizaram apenas o torque de remoção (KHRAISAT *et al.*, 2004; PIERMATTI *et al.*, 2006; COPPEDÊ *et al.*, 2009; ASSUNÇÃO *et al.*, 2011; DELBEN *et al.*, 2011; BASÍLIO, BUTIGNON, FILHO, 2012; KIM *et al.*, 2012; JORGE *et al.*, 2013; VIANNA *et al.*, 2013; DELBEN *et al.*, 2014; VILLARINHO *et al.*, 2015).

Atualmente muitas marcas comerciais desenvolveram tratamentos de superfície com objetivo de diminuir o coeficiente de fricção e aumentar a pré-

carga, mas segundo Elias, Figueira, Rios (2006) deve ser previsto uma determinada combinação de material que não resulte em um torque de remoção extremamente baixo. Assim uma razão torque remoção/pré-carga racional deve ser obtida utilizando um material de recobrimento com coeficiente de fricção dentro de um limite mínimo aceitável.

Apesar das diferenças significativas nos valores de pré-carga e torque de remoção, os dois materiais testados não apresentaram diferenças após 1.000.000 de ciclos, o que representa um ano de função clínica, sendo considerados satisfatórios, pois não ocorreu nenhuma falha de afrouxamento ou fratura de parafusos durante os testes.

Não existe padronização na literatura em relação a um protocolo ideal de fixação de parafusos para pilares protéticos. Sendo assim, 5 minutos após a primeira fixação foi aplicado novo torque de 32Ncm, e os valores só foram registrados após mais 5 minutos de espera para que o sistema se estabilizasse em função do relaxamento inicial dos componentes envolvidos (TZENAKIS *et al.*, 2002). Cantwell & Hobkirk (2004) em um trabalho que utilizou extensômetros para avaliação da perda da pré-carga ao longo do tempo sem a incidência de cargas externas observaram que após 15 horas 24,9% da pré-carga inicial foi perdida, sendo 29,5% desta perda nos 2 segundos iniciais e 40,2% após 10 segundos. Em outro estudo parafusos que durante sua fixação tiveram o torque mantido por 20 e 30 segundos apresentaram maiores valores de torque de remoção que os mantidos por 10 segundos ou que sofreram avaliação imediata (SELLA *et al.*, 2013), justificando a repetição do torque inicial.

Por ser uma célula de carga experimental desenvolvida para este trabalho podem ter ocorrido imprecisões sujeitas a correções em futuros experimentos. Primeiramente por serem 4 células distintas, cada uma com calibragem própria, além da necessidade de a cada troca de implantes ser remontada, pois se os testes fossem realizados no mesmo implante, seu desgaste interno poderia ocasionar distorções.

4. CONCLUSÕES

- Os parafusos de titânio com tratamento de superfície à base de *DLC* (*Diamond-Like Carbon*) apresentaram os maiores valores de pré-carga e os menores de torque de remoção em relação aos parafusos de titânio sem tratamento de superfície com diferenças significativas.
- A pré-carga e o torque de remoção apresentaram baixa correlação em ambos os grupos.
- Os dois parafusos não apresentaram diferenças significativas quanto à perda de pré-carga após 1.000.000 de ciclos, assim como entre os intervalos de 200.000 ciclos.
- Os parafusos de titânio recobertos por *DLC* apresentaram os maiores valores de pré-carga pós-ciclagem (com diferenças significativas em relação aos parafusos de titânio), assim como os maiores valores de torque de remoção pós-ciclagem, mas sem diferenças significativas.

5. REFERÊNCIAS

AL RAFEE, M.A. *et al.* The effect of repeated torque on the ultimate tensile strength of slotted gold prosthetic screws. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.88, n.2, p.176-82, Aug. 2002.

ASSUNÇÃO, W.G. *et al.* Effect of unilateral misfit on preload of retention screws of implant-supported prostheses submitted to mechanical cycling. **J. Prosthodontic. Res.** v.55, p.12-8, 2011.

ASSUNÇÃO, W.G. *et al.* Preload evaluation of different screws in external hexagon joint. **Implant Dentistry**, Baltimore, v.21, n.1, p.46-50, 2012.

BASÍLIO, M.A.; BUTIGNON, L.E.; FILHO, J.N.A. Effectiveness of screw surface coating on the stability of zirconia abutments after cyclic loading. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, Lombard, v.27, p.1061-7, 2012.

BERNARDES, S.R. *et al.* Loss of preload in screwed implant joints as a function of time and tightening/untightening sequences. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, Lombard, v.29, p.89-96, 2014.

BINON, P.P. *et al.* The role of screws in implant systems. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, Lombard, v.9, p.48-63, 1994. Supplement.

BYRNE, D. *et al.* Preloads generated with repeated tightening in three types of screws used in dental implant assemblies. **J. Prosthodont.**, Philadelphia, v.15, n.3, p.164-171, 2006.

CANTWELL, A.; HOBKIRK, J.A. Preload loss in gold prosthesis-retaining screws as a function of time. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, Lombard, v.19, n.1, p.124-32, Jan./Feb. 2004.

CARR, A.B.; BRUNSKI, J.B.; HURLEY, E. Effects of fabrication, finishing, and polishing procedures on preload in prostheses using conventional 'gold' and plastic cylinders. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, Lombard, v.11, n.5, p.589-98, Sep./Oct. 1996.

CARDOSO, M. *et al.* Torque removal evaluation of prosthetic screws after tightening and loosening cycles: an *in vitro* study. **Clin. Oral Impl. Res.**, v.23, p.475-80, 2012.

COPPEDÊ, A.R. *et al.* Effect of repeated torque/mechanical loading cycles on two different abutment types in implants with internal tapered connections: an *in vitro* study. **Clin. Oral Impl. Res.**, v.20, p.624-32, 2009.

DELBEN, J.A. *et al.* Evaluation of the effect of retightening and mechanical cycling on preload maintenance of retention screws. **Int J Oral Maxillofac Implants**, Lombard, v.26, n.2, p.251-6, 2011.

DELBEN, J.A. *et al.* Influence of abutment type and esthetic veneering on preload maintenance of abutment screw of implant-supported crowns. **J Prosthodont.**, Philadelphia, v.23, n., p.134-9, 2014.

DZIEDZIC, D.S.M. *et al.* Assessment of preload in carbon coated prosthetic screws. **RSBO**, v.9, n.12, p.137-142, 2012.

ELIAS, C.N.; FIGUEIRA, D.C.; RIOS, P.R. Influence of the coating material on the loosening of dental implant abutment screw joints. **Materials Science and Engineering**, v.26, p.1361-6, 2006

GUDA, T. *et al.* Probabilistic analysis of preload in the abutment screw of a dental implant complex. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.100, n.3, p.183-93, 2008.

GUZAITIS, K.L.; KNOERNSCHILD, K.L.; VIANA, M.A.G. Effect of repeated screw joint closing and opening cycles on implant prosthetic screw reverse torque and implant and screw thread morphology. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.106, p.159-69, 2011.

HAACK, J.E. *et al.* Elongation and preload stress in dental implant abutment screws. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, Lombard, v.10, n.5, p.529-36, Sep./Oct. 1995.

HAGIWARA, M.; OHASHI, N. A new tightening technique for threaded fasteners. **J. Offshore Mech. Arct. Eng.**, v.116, p.64-9, 1994.

HOYER, S.A. *et al.* Dynamic fatigue properties of the dental implant-abutment interface: Joint opening in wide-diameter versus standard-diameter hex-type implants. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.85, n.6, p. 599-607, June 2001.

JORGE, J.R.P. *et al.* The role of implant/abutment system on torque maintenance of retention screws and vertical misfit of implant-supported crowns before and after mechanical cycling. **Int J Oral Maxillofac Implants**, Lombard, v.28, n.2, p.415-22, 2013.

KHRAISAT, A. *et al.* Effect of lateral cyclic loading on abutment screw loosening of an external hexagon implant system. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.91, n.4, p.326-34, Apr. 2004.

KIM, S.K. *et al.* Screw loosening with interchangeable abutments in internally connected implants after cyclic loading. **Int J Oral Maxillofac Implants**, Lombard, v.27, n.1, p.42-7, 2012.

LANG, L.A. *et al.* Finite element analysis to determine implant preload. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.90, n.6, p.539-46, Dec. 2003.

LEE, F.K.; TAN, K.B.; NICHOLLS, J.I. Critical bending moment of four implant-abutment interface designs. **Int J Oral Maxillofac Implants**, Lombard, v.25, n.4, p.744-51, 2010.

MARTIN, W.C. *et al.* Implant abutment screw rotations and preloads for four different screw materials and surfaces. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.86, n.6, p.24-32, July 2001.

NIGRO, F. *et al.* Removal torque of zircônia abutment screws under dry and wet conditions. **Braz. Dent. J.**, v.21, n.3, p.225-228, 2010.

PARK, J.K. *et al.* Effects of abutment screw coating on implant preload. **J. Prosthodont.**, Philadelphia, v.19, n.6, p.458-464, 2010.

PIERMATTI, J. *et al.* An *in vitro* analysis of implant screw torque loss with external hex and internal connection implant systems. **Implant. Dent.**, Baltimore, v.15, n.4, p.427-35, 2006.

PORTER, S.; ROBB, T. Increasing implant-abutment preload by thin-gold coating abutment screws [abstract]. **J. Dent. Res.**, Washington, v.77, p.837, June 1998.

ROBB, T.; PORTER, S. Increasing abutment screw rotation by applying a thin-gold coating [abstract]. **J. Dent. Res.**, Washington, v.77, p.837, June 1998.

SANTAFÉ, S. **Avaliação da pré-carga e do torque de remoção pós ciclagem mecânica de três sistemas de conexão implante-pilar protético.** Porto Alegre. 2010. 77p. Dissertação (Mestrado em Odontologia). Faculdade de Odontologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil.

SELLA G.C. *et al.* Influence of different maintenance times of torque application on the removal torque values to loosen the prosthetic abutment screws of external hexagon implants. **Implant Dentistry**, Baltimore, v.22, n.5, p.534-9, 2013.

STÜKER, R.A. *et al.* Preload and torque removal evaluation of three different abutment screws for single standing implant restorations. **J. Appl. Oral Sci.**, v.16, n.1, p.55-58, 2008.

TAN, B.F.; TAN, K.B.; NICHOLLS, J.I. Critical bending moment of implant-abutment screw joint interfaces: Effect of torque levels and implant diameter. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, Lombard, v.19, n.5, p.648-58, Sep./Oct. 2004.

TZENAKIS, G.K. *et al.* The effect of repeated torque and salivary contamination on the preload of slotted gold implant prosthetic screws. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.88, n.2, p.183-91, Aug. 2002.

VIANNA, C.A. *et al.* Torque stability of different abutment screws submitted to mechanical cycling. **Int. J. Oral Maxillofac. Implants**, Lombard, v.28, n.5, p.e209-e214, 2013.

VILLARINHO, E.A. *et al.* The effect of a positioning index on the biomechanical stability of tapered implant-abutment connections. **J. Oral Implantol.**, v.41, n.2, p.139-43, 2015.

WANG, R.F. *et al.* The dynamic natures of implant loading. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.101, n.6, p.359-371, 2009.

WEISS, E.I.; KOZAK, D.; GROSS, M.D. Effect of repeated closures on opening torque values in seven abutment-implant systems. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.84, n.2, p.194-9, 2000.

ZARB, G.A.; SCHMITT, A. The longitudinal clinical effectiveness of osseointegrated dental implants: The Toronto study. Part II: The prosthetic results. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.64, n.1, p.53-61, July 1990.

ANEXO 1



*Comissão Científica e de Ética
Faculdade da Odontologia da PUCRS*

Porto Alegre 14 de Março de 2012

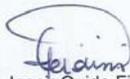
O Projeto de: Tese

Protocolado sob nº: 0012/12
Intitulado: Avaliação da pré-carga de 3 tipos de parafusos de fixação de pilares para próteses unitárias implanto-suportadas antes e após ciclagem mecânica
Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Eduardo Rolim Teixeira
Pesquisadores Associados: Rafael Augusto Stücker
Nível: Tese / Doutorado

Foi *aprovado* pela Comissão Científica e de Ética da Faculdade de Odontologia da PUCRS em 14 de Março de 2012

Profa. Dra. Ana Maria Spohr
Presidente da Comissão Científica e de Ética da
Faculdade de Odontologia da PUCRS

ANEXO 2

 			
<p>Líder pela Qualidade - Werkzeuge fürs Leben</p>		<p>LABORATÓRIO DE TORQUE GEDORE</p>	
<h2>Certificado de Calibração</h2>			
<p>Nº 16736/16</p>			
<p>Pág.: 01 de 03</p>			
<p>Ciente: União Brasileira de Educação e Assistência - PUC-RS.</p>			
<p>Endereço: Av. Ipiranga, 6681, Prédio 30 B: A S: 210 - Porto Alegre/RS - Brasil.</p>			
<p>Solicitação: 4116</p>			
<h3>Equipamento Calibrado</h3>			
<p>Código: 133 961-3.00</p>			
<p>Descrição: Torquímetro axial digital.</p>			
<p>Fabricante: Torqueleader</p>			
<p>Modelo: TSD150</p>			
<p>Capacidade: 15N.cm até 150N.cm.</p>		<p>Valor de Uma Divisão: 0,1N.cm</p>	
<p>Nº de Fabricação: 117317</p>			
<h3>Padrão(ões) Utilizado(s)</h3>			
<p>Patrimônio: 23/50</p>		<p>Patrimônio: 23/103</p>	
<p>Descrição: Volante Estático para Calibração com Raio de 100mm</p>		<p>Descrição: Conjunto de Pesos de 2N</p>	
<p>Fabricante: Norbar</p>		<p>Fabricante: Não Consta</p>	
<p>Certificado: Nº 00588/15 e Nº 00586/15</p>		<p>Certificado: Nº 00442/14 até 00451/14</p>	
<p>Data Calibração: 29/1/2015</p>		<p>Data Calibração: 27/1/2014</p>	
<p>Validade: 31/1/2017</p>		<p>Validade: 31/1/2016</p>	
<p>Entidade: CETEMP - RBC nº 0013</p>		<p>Entidade: CETEMP - RBC nº 0013</p>	
<p>Patrimônio: 23/102</p>			
<p>Descrição: Conjunto de Pesos de 0,5N</p>			
<p>Fabricante: Não Consta</p>			
<p>Certificado: Nº 00432/14 até 00441/14</p>			
<p>Data Calibração: 27/1/2014</p>			
<p>Validade: 31/1/2016</p>			
<p>Entidade: CETEMP - RBC nº 0013</p>			
<p>Data Recebimento: 14/1/2016</p>			
<p>Data Calibração: 18/1/2016</p>			
<p>Data de Emissão: 18/1/2016</p>			
 <p>Joacir Guido Fiorini Signatário Autorizado</p>			
<p>Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI). Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na regulamentação metrológica. Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à medição nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes. É permitida APENAS a reprodução INTEGRAL deste certificado.</p>			
<p>www.gedore.com.br</p>			
<p>FERRAMENTAS GEDORE DO BRASIL S.A. www.gedore.com.br LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE TORQUE SÃO LEOPOLDO - RS BRASIL atq@gedore.com.br R. Vicentina M. Fichini, 275 Vicentina 93025-340 Tel: (51) 3589-9200 Ramal: 9314 Fax: (51) 3589-9222 Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o nº 0374</p>			
			



Número: 16735/10

Pág.: 02 de 03

DADOS GERAIS DA CALIBRAÇÃO

Incerteza de Medição: A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência $k =$ tabela da página 3, o qual para uma distribuição t com $V_{eff} > 100$ graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

Ambiente: Temperatura $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar: máximo 70%.

Norma de Referência: NBR12240:2000.

Instrução Interna Utilizada: ISQ7636 Rev.1000

Procedimento de Calibração: O instrumento de medição de torque foi estaticamente calibrado por aplicação de torques conhecidos, que são gerados pela aplicação de massas, calibradas para produzir forças, em conjunto com um volante com um raio calibrado.

O instrumento de medição de torque foi ligado para aquecer pelo menos 15 minutos antes do início da calibração.

O instrumento de medição de torque foi montado em um dispositivo apropriado que permite regular a base para ser encaixada no instrumento e o instrumento ser girado em 90 graus, quando apropriado, sobre o seu eixo principal de medição entre as séries de torques aplicados.

Antes da calibração, o instrumento de medição foi sobrecarregado 3 vezes com 110 por cento de sua capacidade nominal.

A leitura do indicador para o torque zero antes e depois de cada aplicação de torque foram registradas.

O instrumento de medição de torque foi pré carregado uma vez para sua capacidade nominal e então 3 séries de torques crescente, no sentido horário quando visto do quadrado de encaixe, foi aplicado ao instrumento de medição de torque e o leitura de saída registrado.

Entre a segunda e terceira série, o instrumento de medição de torque foi desconectado da viga de calibração e girado através de 90 graus, quando apropriado, então pre-carregado um vez até no máximo torque antes da aplicação da terceira série.

A leitura do torque zero antes e depois de cada aplicação de séries de torques foram registrados. A leitura de saída foi zero no começo de cada séries.

Observação: Resultados obtidos considerando a aceleração da gravidade local de 9.7928102m/s^2 , conforme relatório de 07/07/2006 do Observatório Nacional.

Os valores medidos nas séries de carregamento e os parâmetros calculados são dados no verso.

Incerteza de


Joacir Guido Fiorini
Signatário Autorizado

Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI). Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na regulamentação metrológica. Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à medição nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes. É permitida APENAS a reprodução INTEGRAL deste certificado.

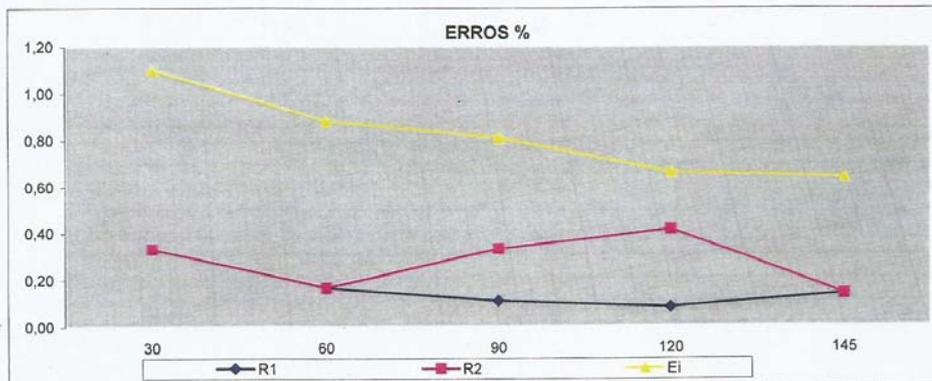
www.gedore.com.br

FERRAMENTAS GEDORE DO BRASIL S.A. | www.gedore.com.br
LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DE TORQUE | SÃO LEOPOLDO - RS | BRASIL | atq@gedore.com.br
R. Vicente de Moraes, 275 | Monteiro | 93029-340 | Tel.: (51) 3588-0200 | Fax: (51) 3588-9222
Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o nº 6374



Resultados: Torque Crescente

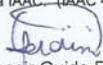
TORQUE CORRETO N.cm	TORQUE INDICADO N.cm			ERROS %			Classe	Incerteza U _(95%) %	k
	0°	0°	0°	R1	R2	Ei			
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3						
0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-
30	30,3	30,4	30,3	0,33	0,33	1,10	5,0	0,43	2,17
60	60,5	60,6	60,5	0,17	0,17	0,88	2,0	0,30	2,04
90	90,6	90,7	90,9	0,11	0,33	0,81	5,0	0,48	2,04
120	120,9	121,0	120,5	0,08	0,41	0,66	5,0	0,44	2,43
145	145,8	146,0	146,0	0,14	0,14	0,64	2,0	0,29	2,00
0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-
				EZ = 0,000 %			0,1		

CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO DA NBR 12240:2000 : CLASSE 5**Definições:**

R1: Erro relativo de Repetitividade	grau de concordância entre os resultados de medição sucessivas de um mesmo torque aplicado, efetuados sob mesmas condições de medição.
R2: Erro relativo de Reprodutibilidade	grau de concordância entre os resultados de medição sucessivas de um mesmo torque aplicado, efetuados sob condições variadas de medição.
Ei: Erro relativo de Indicação	é a média das leituras indicadas para um dado valor de torque crescente menos o valor verdadeiro convencional correspondente do torque.
Ez: Erro relativo de torque zero	o máximo torque residual das leituras indicadas após a aplicação e remoção de uma série de torque.

"A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC" (ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation)

"A Cgcre é signatária do Acordo de reconhecimento Mútuo da IAAC." (IAAC - Interamerican Accreditation Cooperation)


 Joacir Guido Fiorini
 Signatário Autorizado

Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI). Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na regulamentação metrológica. Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à medição nas condições específicas, não sendo extensivo a quaisquer lotes. É permitida APENAS a reprodução INTEGRAL deste certificado.

www.gedore.com.br



ANEXO 3

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test - Titânio

		PC PRÉ-CIC	PC 200.000	PC 400.000	PC 600.000
N		16	16	16	16
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	262,0813	221,8937	218,6688	221,2294
	Std. Deviation	80,50856	76,54513	75,09274	77,93439
Most Extreme Differences	Absolute	,195	,252	,253	,239
	Positive	,195	,252	,253	,239
	Negative	-,165	-,175	-,169	-,150
Kolmogorov-Smirnov Z		,781	1,007	1,012	,955
Asymp. Sig. (2-tailed)		,576	,263	,257	,322

		PC 800.000	PC 1.000.000	PC PÓS-CIC
N		16	16	16
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	223,4331	219,4175	219,6813
	Std. Deviation	77,75163	77,68261	85,16376
Most Extreme Differences	Absolute	,231	,225	,296
	Positive	,231	,225	,296
	Negative	-,145	-,143	-,170
Kolmogorov-Smirnov Z		,922	,902	1,185
Asymp. Sig. (2-tailed)		,363	,390	,121

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ANEXO 4

ANOVA com análise post-hoc teste de Tukey - Titânio

	N	Mean	Std. Deviation	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
				Lower Bound	Upper Bound		
1	16	262,0813	80,50856	219,1813	304,9812	183,70	435,60
2	16	221,8937	76,54513	181,1057	262,6818	150,24	394,01
3	16	218,6688	75,09274	178,6547	258,6828	146,62	399,29
4	16	221,2294	77,93439	179,7011	262,7577	140,54	395,99
5	16	223,4331	77,75163	182,0022	264,8640	141,31	406,55
6	16	219,4175	77,68261	178,0234	260,8116	136,66	406,55
7	16	219,6813	85,16376	174,3007	265,0618	138,50	418,80
Total	112	226,6293	77,95300	212,0333	241,2252	136,66	435,60

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	23716,748	6	3952,791	,638	,700
Within Groups	650793,661	105	6198,035		
Total	674510,409	111			

ANEXO 5

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test - Titânio com recobrimento de *DLC*

		PC PRÉ-CIC	PC 200.000	PC 400.000	PC 600.000
N		16	16	16	16
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	339,263	291,92	291,8319	288,3469
	Std. Deviation	93,1520	86,341	92,50693	93,15566
	Absolute	,245	,191	,168	,193
Most Extreme Differences	Positive	,245	,191	,168	,193
	Negative	-,145	-,153	-,138	-,137
Kolmogorov-Smirnov Z		,979	,764	,672	,771
Asymp. Sig. (2-tailed)		,293	,604	,758	,593

		PC 800.000	PC 1.000.000	PC PÓS-CIC
N		16	16	16
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	293,1675	292,2744	293,7438
	Std. Deviation	90,37236	93,54787	94,32663
	Absolute	,159	,156	,190
Most Extreme Differences	Positive	,159	,156	,190
	Negative	-,120	-,111	-,129
Kolmogorov-Smirnov Z		,638	,624	,760
Asymp. Sig. (2-tailed)		,811	,832	,610

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ANEXO 6

ANOVA com análise post-hoc teste de Tukey - Titânio com recobrimento de DLC

	N	Mean	Std. Deviation	95% Confidence Interval		Minimum	Maximum
				Lower Bound	Upper Bound		
1	16	339,2625	93,15200	289,6253	388,8997	230,50	555,80
2	16	291,9250	86,34060	245,9173	337,9327	203,40	500,93
3	16	291,8319	92,50693	242,5384	341,1253	191,01	522,71
4	16	288,3469	93,15566	238,7077	337,9860	186,35	529,31
5	16	293,1675	90,37236	245,0115	341,3235	187,13	518,09
6	16	292,2744	93,54787	242,4262	342,1225	178,20	514,79
7	16	293,7438	94,32663	243,4806	344,0069	186,10	522,80
Total	112	298,6503	90,98179	281,6148	315,6857	178,20	555,80

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	31072,315	6	5178,719	,613	,720
Within Groups	887750,754	105	8454,769		
Total	918823,069	111			