



II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
II NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
12 a 16 de Agosto de 2002 - João Pessoa – PB

Análise via Elementos Finitos do Parafuso de Pilar de um Implante Dentário Nacional

Cleudmar Amaral de Araújo

Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila 2160 – Uberlândia/MG – CEP:38400-089
Campus Santa Mônica – Bl. 1M – (cleudmar@mecanica.ufu.br)

Flávio Domingues das Neves

Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Odontologia
Av. Pará, 1720 - Uberlândia/MG- CEP:38401-136
Campus Umuarama – Bl. 2U - (neves@triang.com.br)

Janicy Domingues de Oliveria Garcia

Universidade Federal de Uberlândia-Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila 2160 – Uberlândia/MG – CEP:38400-089
Campus Santa Mônica – Bl. 1M – (janicy@ituiutaba.uemg.br)

Gustavo Mendonça

Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Odontologia
Av. Pará, 1720 - Uberlândia/MG- CEP:38401-136
Campus Umuarama – Bl. 2U - (gmendonca@ufu.br)

Leonardo Pereira Paulino

Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila 2160 – Uberlândia/MG – CEP:38400-089
Campus Santa Mônica – Bl. 1M – (leonardopp@alunos.ufu.br)

Resumo. Nos últimos anos a Implantodontia sofreu um grande avanço com o surgimento dos implantes osseointegrados. Devido a ausência de critérios de normalização apropriados, os fabricantes Nacionais de implantes operam dentro de diferentes faixas de qualidade. Com isso, graças aos diferentes tipos e níveis de solicitações impostas ao implante, falhas prematuras podem ocorrer no sistema. Atualmente no Brasil, vários sistemas, são rotineiramente apresentados para o comércio, tornando-se necessário a elaboração de projetos visando testar estes novos sistemas em relação aos tradicionais. Estas avaliações visam, principalmente, classificar para os usuários aqueles sistemas confiáveis e ainda possibilitar às empresas uma análise mais criteriosa em seus produtos visando uma melhoria na qualidade final e uma redução de custos. Neste trabalho a resistência do parafuso de pilar de um implante dentário Nacional padrão é avaliada através de um modelo de elementos finitos, utilizando um implante dentário da empresa Conexão Sistemas de Prótese Ltda. A capacidade de pré-carga no parafuso é avaliada e comparada com uma formulação analítica da capacidade de torque.

Palavras-chave: Implantes dentários, Parafusos de pilar, Elementos finitos, Tensões

1. INTRODUÇÃO

Implantes osseointegrados utilizam, basicamente, o princípio de uma união biologicamente compatível entre um implante metálico com a estrutura óssea. Após a osseointegração este implante formará a base para a colocação da prótese dentária. Graças a este princípio, existe um amplo relacionamento entre os aspectos mecânicos do sistema com a eficiência e a funcionabilidade biológica.

Os sistemas de implantes nacionais, quando comparados com os sistemas importados, possuem um custo menor. Neste contexto, a padronização de técnicas de análise, o conhecimento adequado das propriedades mecânicas e a avaliação do projeto destes sistemas é de fundamental importância, não só pelo conhecimento adequado de todos os parâmetros do sistema, mas também pela sua consolidação no mercado nacional. Esta estratégia visa, principalmente, recomendar e referenciar a possibilidade da utilização destes implantes através da confirmação de sua qualidade final, e também, reduzir os custos do tratamento para o paciente.

O reconhecimento da implantodontia ocorreu a partir do trabalho de Branemark (1985), sendo que o sucesso dos implantes osseointegrados depende fundamentalmente de sua preservação ao longo do tempo e a manutenção da saúde dos tecidos “perimplantares” e do próprio selamento biológico depende basicamente da adaptação e do acabamento superficial dos componentes conhecidos como “transmucosos”. Neves (2000) constatou que alguns sistemas de implantes nacionais apresentam acabamento superficial inadequado e adaptação irregular de seus componentes.

O método de elementos finitos tem sido usado para determinar a distribuição de forças de oclusão em dentes e implantes dentais. Os resultados de diversas análises mostram que a distribuição de forças na oclusão não muda significativamente com mudanças no modelo dos implantes, sendo que tensões induzidas no osso são sensíveis para o modelo de prótese, conforme mostrado em vários trabalhos (Meroueh et al., 1987; Kitoh et al., 1988; Clelland et al., 1991; Williams et al., 1990 e Lotz et al., 1991).

Atualmente no Brasil, vários sistemas são rotineiramente apresentados para o comércio, tornando-se necessário a elaboração de projetos visando testar estes novos sistemas em relação aos tradicionais e elaborar linhas de pesquisas padronizando determinados testes, bem como requisitos de projeto para a especificação dos elementos. Estas avaliações visam, principalmente, classificar para os usuários aqueles sistemas confiáveis e ainda possibilitar às empresas uma análise mais criteriosa em seus produtos.

Cleudmar et al. (2001) propuseram uma formulação analítica para a determinação de tensões axiais em parafusos de implantes dentários. Neste trabalho esta formulação é apresentada de forma genérica, e um modelo de elementos finitos é proposto visando validar as formulações analíticas. A validação da metodologia proposta foi feita utilizando um modelo de implante nacional e um pilar “standard” do fabricante Conexão Sistemas de Prótese Ltda.

2. MODELO ANALÍTICO - TENSÕES AXIAIS

Um implante dentário pode estar sujeito a várias condições de carregamentos externos dependendo da mastigação e do tipo utilizado. No caso mais geral os implantes são sujeitos a forças de compressão, forças de cisalhamento e momentos fletores, de origem estática e dinâmica e que podem levar os elementos, principalmente os parafusos, a sofrerem falhas estática ou por fadiga. A Figura (1) apresenta um modelo de um implante dentário padrão. A Figura (2) apresenta um implante genérico simulado por forças e momentos externos.

Neste sistema biomecânico, o parafuso de pilar tem papel significativo ao sustentar o dispositivo que possibilitará a conexão do dente. Suas propriedades mecânicas estão intimamente relacionadas com a longevidade do sistema. Uma falha neste elemento é sempre de difícil solução devido a impossibilidade de sua retirada sem afetar o implante.

O parafuso de pilar, devido ao torque aplicado, é sujeito a uma força de tração (pré-carga) e cisalhamento. Estes efeitos são aumentados devido ao torque aplicado ao parafuso de fixação da coroa que recebe a prótese. Neste trabalho, serão considerados apenas carregamentos estáticos axiais.

A força resultante em um parafuso de pilar pode ser estimada considerando a rigidez do parafuso e a rigidez da união pilar/implante. A parcela de carga em um parafuso genérico e nos membros da união

devido as solicitações impostas pode ser estimada considerando a flexibilidade dos vários elementos, Shigley (1998). Neste caso, como o parafuso de pilar é composto de uma parte roscada e não roscada a rigidez equivalente do parafuso é dada por:

$$\frac{1}{K_p} = \frac{1}{K_{pr}} + \frac{1}{K_{pnr}} \quad (1)$$

Onde:

$$K_{pr} = \frac{\bar{A}_p \times E_p}{L_r} \quad e \quad K_{pnr} = \frac{A_p \times E_p}{L_{nr}} \quad (2)$$

Sendo: \bar{A}_p : Área efetiva do parafuso medida no diâmetro médio

A_p : Área do parafuso medida no diâmetro de raiz

L_r : Comprimento roscado

L_{nr} : Comprimento não roscado.

E_p : Módulo de Elasticidade

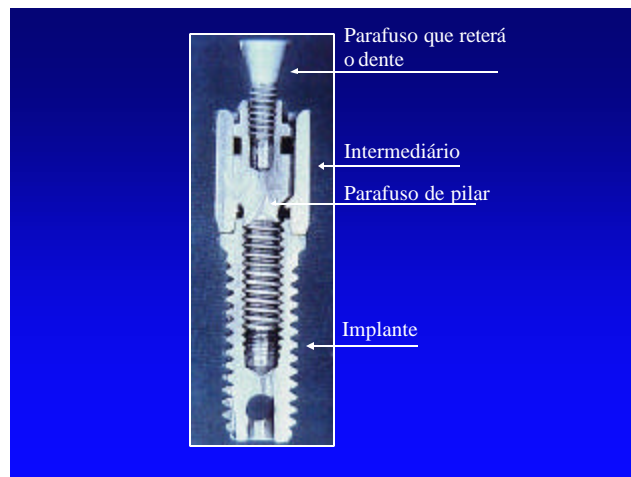


Figura 1. Implante dentário padrão.

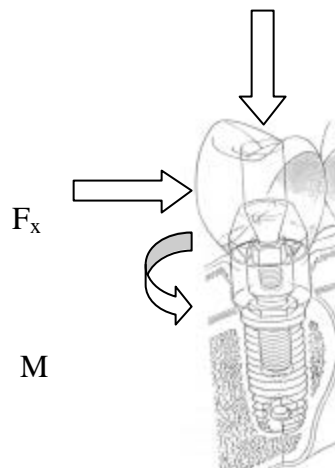


Figura 2. Modelo esquemático de um implante sujeito a forças externas.

Para a determinação da rigidez dos elementos da união (conexão/implante) é proposto um modelo de área efetiva cilíndrica e um modelo de área efetiva cônica.

A carga externa (F_y), ver Fig. (2) e aqui renomeada por (P), pode ser dividida em:

$$P = P_u + P_p \quad (3)$$

Onde: P_u : Parcela da carga externa atuante na união
 P_p : Parcela da carga externa atuante no parafuso

Portanto, as forças resultantes no parafuso (F_p) e na união (F_u) serão:

$$F_p = F_i - P_p \quad (4)$$

$$F_u = F_i + P_m \quad (5)$$

Considerando que a deflexão ocorrida no parafuso e na união devido a carga externa são aproximadamente iguais, tem-se que:

$$P_p = V \times P = \left[\frac{K_p}{K_u + K_p} \right] \times P \quad (6)$$

$$P_u = (1 - V) \times P \quad (7)$$

Portanto, as forças resultantes no parafuso e na união serão:

$$F_p = F_i - VP \quad (8)$$

$$F_u = F_i + (1 - V)P \quad (9)$$

Portanto, a tensão normal estimada (s_y) no parafuso, determinada na área média é dada por:

$$s_y = \frac{F_p}{A_p} \quad (10)$$

A pré-carga real no parafuso (F_i) surge em função do torque de aperto do parafuso. No entanto, uma pré-carga ideal pode ser obtida de sua resistência de prova, Norton (1998). Na ausência de valores específicos pode-se considerar uma resistência de prova em função do limite de escoamento do material (S_e), ou seja,

$$s_p = 0,9 \times S_e \quad (11)$$

Deve-se assegurar que o pré-carregamento ideal se processe por ocasião da união entre o pilar e o implante, através de um torque ideal que deve ser aplicado no parafuso até produzir um certo alongamento que seja inferior ao alongamento relativo ao limite de escoamento. Uma estimativa do torque considerando os filetes de rosca triangular como um perfil trapezoidal, Norton (1998) é dado por:

$$T = F_i \frac{\bar{d}}{2} \times \frac{(m + \tan l \cos a)}{(\cos a - m \tan l)} + F_i \frac{d_c}{2} m_c \quad (12)$$

Onde: l : Ângulo de hélice ($\tan l = \frac{p}{pd}$)
 a : Ângulo da rosca
 m : Coeficiente de atrito aos filetes

m_c : Coeficiente de atrito entre a cabeça do parafuso e o intermediário ($m = m_c$)

\bar{d} : Diâmetro médio dos filetes

d_c : Diâmetro do colar, sendo ($d_c = D_{cp} - d$)/2, onde D_{cp} é o diâmetro da cabeça do parafuso.

3. MODELO DE ELEMENTOS FINITOS DE UM IMPLANTE PADRÃO

O modelo de elementos finitos desenvolvido, utilizando o programa Ansys, foi feito visando verificar o comportamento do sistema quando submetido a uma carga axial externa somada ao efeito do pré-carregamento e validar a formulação analítica proposta. Este modelo foi construído a partir das dimensões e formato básico de um implante dentário da empresa Conexão Sistemas de Prótese Ltda. A Fig. (3) apresenta o modelo de elementos finitos axisimétrico desenvolvido.

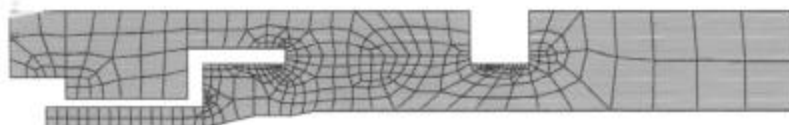


Figura 3. Modelo de elementos finitos desenvolvido.

Nesta etapa, não foi utilizado nenhum elemento de contato. Com isso, o parafuso foi afastado do contato com o intermediário e a pré-carga foi simulada como uma pressão nesta área. Foi utilizado um elemento do tipo plane82, uma carga axial externa resultante de 500N e uma pré-carga de 539N. Este valor de pré-carga foi estimado da eq. (19) considerando um torque de 220 N.mm. Este nível de torque é o valor mais comum utilizado nos implantes dentários e pode variar até 300 N.mm dependendo do tipo de implante e de suas dimensões. Também nesta primeira etapa do trabalho ainda não se dispõe das reais propriedades mecânicas do material do implante analisado. Com isso, para a análise foram utilizadas as propriedades do titânio comercialmente puro. Ressalta-se que nesta etapa, não existe prejuízo pois o objetivo principal é a validação da formulação proposta. A Tabela (1) apresenta as principais propriedades mecânicas do material utilizado no implante.

Tabela 1: Propriedades mecânicas do titânio puro, sendo E(Mód. de elasticidade), ν (Coef. de poisson), G(Mód. de elast. transversal), Su(Limite de resistência), Se (Limite de escoamento), Along(Alongamento).

	E (GPa)	ν	dens (Kg/m ³)	G (GPa)	Su (MPa)	Se (MPa)	Alo ng (%)	Dure za (HB)
Parafuso	103,5	0,34	4400	41,4	517	414	25	245

Inicialmente foi aplicada apenas a pressão externa no parafuso e no pilar visando simular uma pré-carga de aproximadamente 539 N no parafuso. A Figura (4) apresenta os deslocamentos na direção axial. A seguir foi aplicada uma carga externa axial de 500 N que simula, simplificada, o efeito de mastigação. A Figura (5) apresenta as tensões na direção y.

Pode-se observar um comportamento esperado, ou seja, durante a pré-carga o parafuso fica tracionado enquanto próximo a união pilar/implante existe compressão. Os resultados mostrados na Tab. (2) foram obtidos considerando valores mínimos para os deslocamentos axiais para a região do parafuso (Parte não roscada e parte roscada) e da união. Foram considerados valores médios para a força e todos os resultados, com exceção dos valores das tensões foram divididos pelo fator de escala (10). Na Tabela (2) o sub-índice (nr) significa não roscada e o sub-índice (r) significa roscada. Além disso, (U) é o deslocamento, (F) a força, (K) a rigidez equivalente e (S) a tensão principal.

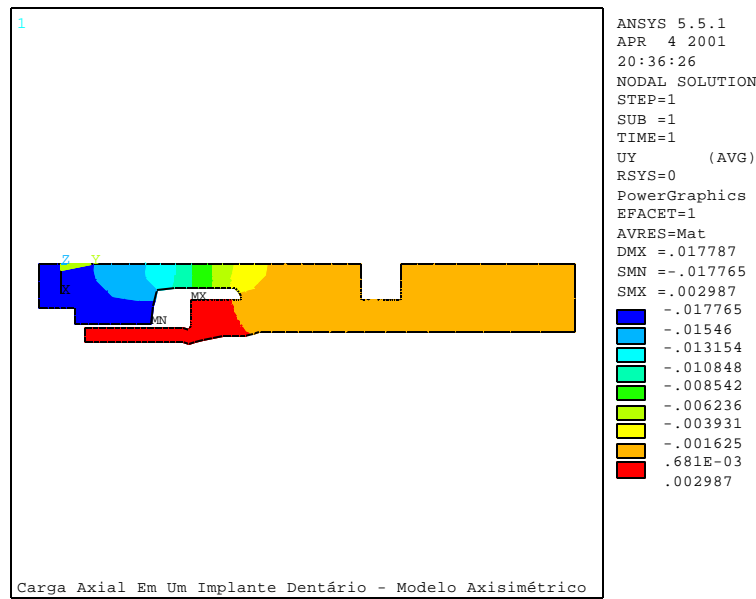


Figura 4. Deslocamentos na direção axial (y)

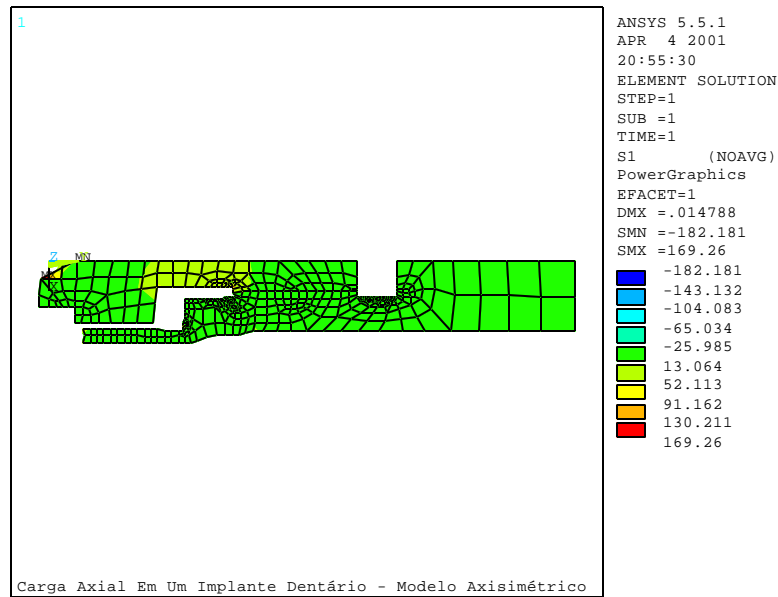


Figura 5. Tensões na direção axial (y)

Os resultados da formulação analítica proposta foram obtidos utilizando o implante dentário padrão do fabricante nacional Conexão Sistemas de Prótese Ltda., Cleudmar et al. (2001). A formulação analítica proposta foi implementada em um código Matlab.

Utilizando o modelo de área efetiva cilíndrica e um valor de rigidez para a união de $7.9E+5$ estimada do modelo de elementos finitos, da Tab. (2) obtém-se um valor para a constante K de 3,7. Utilizando o modelo de área efetiva cônica obtém-se uma estimativa para a rigidez da união K_u de $7.99e+5$.

Considerando uma carga externa axial (F_y) de 500 N atuando no sistema e uma pré-carga para o parafuso de fixação da coroa (F_1') de 38 N obtém-se a carga externa resultante (P) de 462 N. A rigidez da união é a mesma estimada do modelo de elementos finitos ($K_p = 4.0E+5$ N/mm, $K_u = 7.9E+5$ N/mm). Logo, a tensão normal será:

$$s_y = 33.2 \text{ N/mm}^2$$

Uma tensão normal ponderada no diâmetro de raiz do parafuso também foi calculada, ou seja,

$$s_{yr} = 47.8 \text{ N/mm}^2 \quad (14)$$

Tabela 2. Resultados da análise por elementos finitos.

Resultados	1º Passo: Pré-carga aplicada	2º Passo: Pré-carga+Carga axial
U_{nr} (mm)	4.4E-4	2.9E-4
F_{nr} (N)	54	40.7
K_{nr} (N/mm)	1.2E+5	1.4E+5
U_r (mm)	4.7E-5	5.0E-5
F_r (N)	54	40.7
K_r (N/mm)	11.4E+5	8.1E+5
U_u (mm)	6.8E-5	5.0E-5
F_u (N)	54	40.7
K_u (N/mm)	7.9E+5	8.1E+5
S_{nr} (N/mm ²)	-----	32.6
S_r (N/mm ²)	-----	52.1

Apesar do modelo de elementos finitos representar adequadamente o comportamento do sistema, a não inclusão de elementos do tipo contato na região que modela os filetes apresentou algumas discrepâncias. Estas diferenças foram observadas nos valores da rigidez destas regiões entre o modelo numérico e o analítico, nos dois passos de carga. Estes resultados foram confirmados através do cálculo do alongamento teórico e numérico. Mesmo assim, obteve-se resultados satisfatórios para as tensões medidas no diâmetro médio e diâmetro de raiz, conforme mostra a Tab. (3).

Tabela 3. Tensões normais analítica versus numérica.

Tensões	Modelo analítico	Modelo Numérico	Erro (%)
σ_v (N/mm ²)	33.2	32.6	1.8
σ_{vr} (N/mm ²)	47.8	52.1	8.3

O fator K obtido de 3.7 parece ser razoável, pois em outros tipos de sistemas parafusados utiliza-se um valor de 3, Shigley (1998). É também necessário avaliar adequadamente o coeficiente de atrito dos elementos em contato através de ensaios visando otimizar o torque aplicado.

4. CONCLUSÕES

Foi apresentado de forma resumida uma formulação analítica visando a determinação da tensão normal no parafuso de pilar de um implante dentário padrão sujeito a carregamentos uniaxiais. Verificou-se que apesar da utilização de um modelo simplificado de elementos finitos visando a validação da metodologia, resultados promissores foram observados. Para melhorar os resultados obtidos é fundamental a utilização de um modelo numérico tridimensional que inclua os filetes de rosca. Ressalta-se que este modelo já está em fase final de execução. Além disso, devem ser incluídos na análise outros tipos de carregamentos que melhor simule o efeito de mastigação visando avaliar o comportamento biomecânico do implante, ajustando adequadamente os modelos numérico e analítico.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Empresa Conexão Sistemas de Prótese Ltda. pelo apoio ao projeto.

6. REFERÊNCIAS

- Branemark, P.I., 1985, "Introduction to osseointegration." T. Tissue-integrated protheses, Chicago, Quintessence, 2^a ed. p.11-2.
- Branemark, P.I., 1987, "Prótesis tejido-Integradas. La Osseointegração en la Odontologia Clínica", Alemanha, Berlin.
- Burguete, R.L., 1994, "Tightening characteristics for screwed joint in osseointegrated dental implants." J. Prost. dent., v. 71, n.6. p. 592-599.
- Clelland NL, Ismail YH, Zaki HS, Pipko D., 1991,"Three-dimensional finite element stress analysis in and around the screw-vent implant.", Int J Oral Maxillofac Implants ,v6, p391–398.
- Cleudmar A. A., Neves F. D., Garcia J. D. O., Mendonça G., Paulino L. P., 2001, "Resistência de Parafusos de Pilar Utilizados em Implantes Dentários Nacionais", XVI COBEM/2001 - Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 26-30 Novembro, Uberlândia, MG.
- Kitoh M, Matsushita Y, Yamaue S, Ikeda H, Suetsugu T., 1988, "The stress distribution of the hydroxyapatite implant under the vertical load by the two-dimensional finite element method.", J Oral Implantol, V.4, p65–71.
- Lehnhoff, T. F., Ko K. I., McKay, M. L., 1994, "Member Stiffness and Contact Pressure Distribution of Bolted Joints." Trans ASME, J. Mech. Design, 116, pp. 550-557.
- Lotz J. C., Cheal E. J., Hayes W. C., 1991, "Fracture prediction for the proximal femur using finite element models: Part I-linear analysis.", J Biomech Eng , 113, pp353–360.
- Meroueh KA, Wantanabe F, Mentag PJ., 1987,"Finite element analysis of partially edentulous mandible rehabilitated with an osteointegrated cylindrical implant.", J Oral Implantol ,13, pp.215–238.
- Neves, F.D., Fernandes N. A. J., 1999, "Prótesis sobre implante – el pilar CerAdaptTM Optimizando la estética gingival.", RCOE, v.4, n.6, p.579-584.
- Neves, F.D., Fernandes N. A. J., Oliveira, M. R. S., Lima, J.H.F., 2000, "Seleção de intermediários para implantes Branemark-compatíveis – Parte I: Casos de implantes múltiplos." , Rev Bras Prot Clin Lab., v.2, n.5.
- Neves, F.D., Fernandes N. A. J., Oliveira, M. R. S., Lima, J.H.F., 2000, "Seleção de intermediários para implantes Branemark-compatíveis – Parte II: Casos de implantes individuais." Rev Bras Prot Clin Lab., v.2, n.6.
- Norton, R. L., 1998, "Machine Design – An Integrated Approach", Prentice-Hall ed..
- Shames I. H. ; Cossarelli F. A., 1991, "Elastic an Inelastic Stress Analysis. ", Prentice-Hall:Englewood Cliffs.
- Shigley J. E.; Mischke, C. R., 1998, "Mechanical Engineering Design", McGraw-Hill ed., 5^a ed..
- Wileman J., Choudhury M., Green I., 1991, "Computation of Member Stiffness in Bolted Connections." Trans. ASME, J. Mech. Design, 113, pp. 432-437.

Williams KR, Watson CJ, Murphy WM, Scott J, Gregory M, Sinobad D., 1990, 'Finite element analysis of fixed prostheses attached to osseointegrated implants.', Quintessence Int , v21, pp.563–570.

Analysis by Finite Element method of Abutment Screw of a National Dental Implant

Cleudmar Amaral de Araújo

University Federal of Uberlândia-FEMEC
Av. João Naves de Ávila 2160 – Uberlândia/MG – CEP:38400-089
Campus Santa Mônica – Bl. 1M – (cleudmar@mecanica.ufu.br)

Flávio Domingues das Neves

University Federal of Uberlândia-FOUFU
Av. Pará, 1720 - Uberlândia/MG- CEP:38401-136
Campus Umuarama – Bl. 2U - (neves@triang.com.br)

Janicy Domingues de Oliveria Garcia

University Federal of Uberlândia-FEMEC
Av. João Naves de Ávila 2160 – Uberlândia/MG – CEP:38400-089
Campus Santa Mônica – Bl. 1M – (janicy@ituiutaba.uemg.br)

Gustavo Mendonça

University Federal of Uberlândia-FOUFU
Av. Pará, 1720 - Uberlândia/MG- CEP:38401-136
Campus Umuarama – Bl. 2U - (neves@triang.com.br)

Leonardo Pereira Paulino

Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila 2160 – Uberlândia/MG – CEP:38400-089
Campus Santa Mônica – Bl. 1M – (leonardopp@alunos.ufu.br)

Abstract. *In the last years the Implant area suffered a great advance with the appearing from the osseointegrated implants. Due to absence of appropriate criteria of normalization, the National manufacturers of implants operate inside of different bands of quality. Then, faults can occur in the system, because of different types and levels of forces imposed to the implant. Currently in Brazil, some systems, routinely are presented for the commerce, having become necessary the elaboration of designs aiming at to test these new systems in relation to the traditional ones. The mainly objective these evaluations is to classify for the users those trustworthy systems and still to make possible to the companies a criteriosa analysis in its products aiming at an improvement in the final quality and a reduction of costs. In this work the strength of the abutment screw of a National dental implant standard is evaluated through a model of finite elements, using a dental implantat of the company Connection Systems of Prótese Ltda. The preload screw level is evaluated and compared with an analytical formularization of the torque capacity.*

Keyword: *Dental implants, abutment screws, Finite element method, Stress.*