

## ARTIGO CIENTÍFICO

# Avaliação da distribuição de tensões em casos de prótese parcial removível de classe I mandibular convencional e associada a implante osseointegrado pelo método dos elementos finitos

Evaluation of the distribution of tensions in cases of inferior removable partial denture class I conventional and associated with osseointegrated implant by the finite element analysis

Fellippo Ramos VERRI\*

Eduardo Piza PELLIZZER\*\*

João Antônio PEREIRA\*\*\*

Érika Oliveira ALMEIDA\*\*\*\*

Rosse Mary Falcón ANTENUCCI\*\*\*\*\*

## RESUMO

A associação das próteses parciais removíveis (PPRs) e implantes osseointegrados tem sido relatada na literatura, mas ainda não existem relatos sobre a melhor forma de conexão com o último dente suporte nos casos de extremidade livre. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar, através do MEF bidimensional, o comportamento das estruturas de suporte de uma PPR convencional e associada a implante osseointegrado, agindo apenas como suporte, variando-se os sistemas de conexão com o último dente suporte entre apoio distal e placa distal. Foram confeccionados 4 modelos hemi-mandibulares, com presença apenas do dente 33, sendo: Mod A, PPR convencional e apoio distal; Mod B, PPR convencional e placa distal; Mod C, PPR associada a implante de 3,75 x 10,0 mm e apoio distal; Mod D, PPR associada a implante de 3,75 x 10,0 mm e placa distal. O programa de elementos finitos utilizados foi o ANSYS 9.0 com carregamento de 50N em cada ponta de cúspide, estritamente vertical. Os resultados foram obtidos através de mapas de deslocamento e tensão de Von Mises. Os resultados mostraram alívio do ligamento periodontal e dente suporte quando da presença da placa distal, tanto nos mapas de deslocamento quanto nos mapas de tensão. Por esta metodologia foi possível concluir que: 1. A placa distal diminuiu a tendência de movimento do dente suporte, tanto dos modelos com PPR convencional, quanto nos associados a implante; 2. Os modelos que incorporaram a placa distal melhoraram a distribuição interna de tensões de von Mises, principalmente pelo alívio do dente suporte.

**Palavras-chave:** Prótese Parcial Removível; Prótese Mandibular; Análise de Elemento Finito; Análise do Estresse Dentário; Biomecânica.

## ABSTRACT

The association of the removable partial dentures (RPDs) and osseointegrated implants it has been mentioned in the literature, but reports don't still exist on the best connection form with the last support tooth in the cases of distal extension. Like this, the objective of this work was to study, through the bidimensional FEA, the behavior of the support structures of a conventional RPD and associated with implants, just acting as support, by variation in the connection systems with the last support tooth between distal incisal rest or and distal plate. 4 hemi-mandibular models were made, with presence just of the tooth 33: Model A: conventional RPD and distal incisal rest; Model B: conventional RPD and distal plate; Model C: RPD associated with implant (3,75 x 10,0 mm) and distal incisal rest; Model D: RPD associated with implant (3,75 x 10,0 mm) and distal plate. The finite element program used was ANSYS 9.0 with loading of 50N in each cusp tip, strictly vertical. The results were obtained through displacement maps and tension maps. The results showed decrease of the ligament and support tooth tension when distal plate were present, as in the displacement maps or in the tension maps. For this methodology it was possible conclude: 1. The distal plate reduced the tendency of movement of the support tooth in all models; 2. the models that incorporated the distal plate improved the internal distribution of von Mises tensions, mainly for the relief of the support tooth.

**Keywords:** Removable Partial Denture; Mandibular Prosthesis; Finite Element Analysis; Dental Stress Analysis; Biomechanics.

\* Doutorando do Departamento de Materiais Dentários e Prótese da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP. Prof. Ms. do Departamento de Odontologia das Faculdades Adamantinenses Integradas de Adamantina – FAI. Prof. Ms. do Departamento de Odontologia da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNIP.

\*\* Prof. Dr. do Departamento de Materiais Dentários e Prótese da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP.

\*\*\* Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP.

\*\*\*\* Mestranda do Departamento de Materiais Dentários e Prótese da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP.

\*\*\*\*\* Mestranda do Departamento de Materiais Dentários e Prótese da Faculdade de Odontologia de Araçatuba – UNESP.

## INTRODUÇÃO

A literatura apresenta diversos trabalhos sobre o comportamento biomecânico da PPR, sendo a PPR de extremidade livre (PPREL) uma das mais estudadas, determinando condutas clínicas com o objetivo de minimizar o problema mecânico existente neste aparelho pelo seu duplo suporte e também os seus efeitos sobre as estruturas de suporte<sup>1, 3, 14, 15, 16, 17, 18, 28, 29, 32</sup>. Pode-se afirmar que a extensão do espaço edentado, a altura do processo alveolar, o arco antagonista e a técnica de moldagem empregada na extremidade livre, dentre outros, são fatores potencialmente capazes de afetar a retenção, favorecer a instabilidade, e contribuir para o desconforto e a insegurança do paciente, além de sobrecarregar as estruturas de suporte<sup>21, 31</sup>.

Os implantes osseointegrados têm sido empregados na associação com a PPREL com o objetivo de melhorar a retenção e a estabilidade, e oferecer suporte para a base de resina acrílica, limitando ou impedindo a sua intrusão no rebordo<sup>12</sup>, possibilitando mais conforto ao paciente através do aumento gradativo da força mastigatória e a diminuição do movimento de alavanca que o sistema permite<sup>3, 17, 20, 24, 28, 32</sup>. Porém, ainda são poucos os relatos de casos clínicos da associação dos implantes com as próteses parciais removíveis<sup>2, 6, 8, 9, 11, 22, 27</sup> e os trabalhos de pesquisa<sup>1, 3, 15, 17, 18, 19, 28, 29, 32</sup>.

Em termos técnicos, a associação de implantes osseointegrados e PPRELs nada mais é do que uma tentativa de se eliminar o problema de alavanca. Teoricamente, há uma transformação de uma classe I em uma classe III de Kennedy, que de acordo com PELLIZZER & MUENCH<sup>23</sup> (1998), para próteses sem a associação de implantes osseointegrados, promoveria um aumento na força de mordida, que passaria de 84N para 299N, quando o antagonista é a dentição natural.

Os estudos a respeito da associação ainda não são conclusivos. ROCHA<sup>28</sup> (2001) comparou 3

modelos sob as mesmas condições de contorno e carregamento e verificou que a presença do implante osseointegrado na região posterior do rebordo ofereceu suporte para a base da PPREL, limitando a sua intrusão. Porém, não favoreceu a redução da tensão no dente suporte, como verificou LACERDA<sup>15</sup> (1999) e como KELTJENS et al.<sup>12</sup> (1993) esperava. VERRI<sup>32</sup> (2003) estudou o diâmetro e o comprimento, através de 8 modelos na associação da PPR e o implante osseointegrado e observou que o aumento tanto do diâmetro como do comprimento influenciaram positivamente a distribuição de tensões. LUCAS<sup>17</sup> (2003) estudou esta associação através de 3 modelos de elementos finitos aplicando forças oblíquas e chegou a conclusão que a presença de implante osseointegrado aliviou o ultimo dente suporte, resultados diferentes aos encontrados por ROCHA<sup>28</sup> (2001) e VERRI<sup>32</sup> (2003). A localização do implante na associação foi estudada por CUNHA<sup>3</sup> (2004), que utilizou uma placa distal como união entre o dente suporte distal e a estrutura da prótese removível e concluiu que a melhor localização para o implante é a posição mesial, mais próximo ao dente suporte. SANTOS<sup>29</sup> (2005) estudou a influência da angulação do implante nesta associação e chegou a conclusão que o aumento da angulação do implante influencia negativamente a tendência ao deslocamento e a distribuição de tensões, embora uma pequena angulação (5°) seja benéfica. ARCHANGELO<sup>1</sup> (2005) estudou a união do implante osseointegrado com a PPR variando a reprodução do ligamento periodontal em uma forma homogênea e não homogênea em elementos finitos e concluiu que o ligamento periodontal da forma não homogênea deve ser adotado em estudos dessa natureza, ressaltando os benefícios do implante na redução das tensões sobre o rebordo alveolar, mas não sobre o dente suporte, independente da heterogeneidade do ligamento periodontal. MARTIN Jr.<sup>18</sup> (2005) estudou a influência do formato do rebordo alveolar na distribuição de tensões na associação

PPR-implante e concluiu que não houve grandes diferenças na distribuição das tensões e da tendência ao deslocamento em função dos formatos do rebordo alveolar.

Os trabalhos de ROCHA<sup>28</sup> (2001), VERRI<sup>32</sup> (2003), LUCAS<sup>17</sup> (2003), ARCHANGELO<sup>1</sup> (2005), MARTIN Jr.<sup>18</sup> (2005) e SANTOS<sup>29</sup> (2005) utilizaram o apoio oclusal distal e o implante na região distal enquanto que CUNHA<sup>3</sup> (2004) utilizou uma placa distal e variou o posicionamento do implante osseointegrado. Apesar de trabalhos utilizando apoios na distal ou placa distal, não existem trabalhos comparando o apoio oclusal distal com a placa distal na associação com a PPR.

Dentre as maneiras encontradas na literatura para o estudo do comportamento biomecânico da PPREL associada ou não aos implantes osseointegrados, encontra-se o método dos elementos finitos, que tem sido cada vez mais utilizado na literatura odontológica. O método consiste no processo da idealização estrutural, que pode ser definido como a transformação de um corpo elástico contínuo num sistema estrutural formado pela reunião de elementos estruturais unidos entre si, através de um número finitos de pontos. Assim, um corpo qualquer, alvo do estudo, é dividido em pequenos elementos de forma geométrica simples, geralmente quadrado ou triângulo para os estudos bidimensionais, tetraedro ou hexaedro nos tridimensionais, que sendo

maiores ou menores, definem o grau de refinamento do corpo. Trata-se, portanto, de um método de análise matemática de modelos especialmente idealizados, fazendo uso de um computador para resolver um elevado número de equações algébricas envolvidas dentro da estrutura que está sendo analisada<sup>7</sup>.

Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi analisar o comportamento das estruturas de suporte de uma PPREL convencional e associada um implante osseointegrado através de diferentes conexões entre o dente suporte e a estrutura da prótese removível (apoio incisal e placa distal), utilizando a metodologia dos elementos finitos bi-dimensional.

## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste estudo se baseia em trabalhos anteriores<sup>1, 3, 17, 18, 24, 28, 29 e 32</sup>. Foram elaborados 4 modelos que, sob o aspecto sagital, simulam hemiarcos parcialmente edentados de extremidade livre, com periodonto de suporte e de proteção, distância biológica (crista alveolar, junção cimento/esmalte, inserção conjuntiva), altura óssea mandibular e espessura da estrutura metálica de CrCo constantes nos 4 modelos. O quadro 1 resume as características dos modelos.

Os modelos foram desenhados com o auxílio do programa AutoCAD 2000, a partir de valores estabelecidos da literatura. Assim, ligamento

QUADRO 1 – Modelos confeccionados para a elaboração do estudo

Modelo A	Representa uma hemiarcada com a presença do dente natural 33 e uma PPREL apresentando apoio incisal distal como conexão entre o dente suporte e a estrutura da PPR
Modelo B	Idêntico ao modelo A, apresentando placa distal como conexão entre o dente suporte e a estrutura da PPR
Modelo C	Representa uma hemiarcada com a presença do dente natural 33 e uma PPREL apresentando apoio incisal distal como conexão entre o dente suporte e a estrutura da PPR além da associação de um implante de 3,75 x 10,00 mm agindo como suporte próximo ao dente suporte
Modelo D	Idêntico ao modelo C, apresentando placa distal como conexão entre o dente suporte e a estrutura da PPR

periodontal, fibromucosa, distância biológica, dentes artificiais e espessura de estrutura de PPR foram desenhados de acordo com trabalhos anteriores<sup>1, 3, 17, 18, 24, 28, 29 e 32</sup>. O sistema de implante utilizado foi o Sistema Branemark, desenhado a partir da técnica estabelecida por DARBAR et al.<sup>4</sup> (1995), e as modificações realizadas por ROCHA<sup>28</sup> (2001), sendo, portanto, utilizada uma técnica de recorte, digitalização e desenho da morfologia externa e interna do implante e do cicatrizador utilizado, de 2,0 x 4,0 mm.

O programa de elementos finitos utilizados foi o ANSYS 9.0. Os modelos criados no programa Auto CAD 2000 foram exportados para este programa para a geração da malha de elementos finitos, confeccionada a partir do uso do elemento sólido bidimensional – PLANE 2 – que apresenta 6 nós e 3 arestas descrevendo uma parábola. O uso deste elemento permitiu um refinamento apropriado da malha, principalmente em locais de maior interesse, como no implante, por exemplo.

Os materiais envolvidos no estudo foram considerados homogêneos, isotrópicos, linear-

mente elásticos, e os modelos assumidos em estado plano de tensão. As propriedades mecânicas dos materiais estão representadas no quadro 2.

Para a execução deste estudo os modelos foram fixados em toda a base nas direções x e y. No lado direito e esquerdo foi fixado apenas o eixo x, exatamente para conferir liberdade de movimentação vertical para a base da PPR, simulando o que acontece na realidade. O carregamento de forças foi realizado nas pontas de cúspide dos dentes naturais e artificiais simulados, distribuindo um total de 50 N em cada cúspide, dividido em 5 aplicações de 10 N.

## RESULTADOS

Os resultados foram obtidos através de mapas de deslocamento, com unidades em mm, e mapas de tensão de von Mises, com unidades em MPa. Cada tópico será apresentado separadamente. Os valores obtidos a partir dos mapas de deslocamento e tensão de von Mises gerados estão representados na tabela na página seguinte..

QUADRO 2 - Propriedades mecânicas dos materiais que compõe os modelos

Estrutura	Módulo de Elasticidade $E$ (Gpa)	Coefficiente de Poisson( $\nu$ )	AUTORES
Esmalte	41.0	0.30	FARAH et al. <sup>5</sup> (1988)
Dentina	18.60	0.31	FARAH et al. <sup>5</sup> (1988)
Lig. Periodontal	0.0689	0.45	FARAH et al. <sup>5</sup> (1988)
Fibromucosa	0.68	0.45	KO et al. <sup>13</sup> (1992)
Ossos Cortical	13.70	0.30	FARAH et al. <sup>5</sup> (1988)
Ossos Medular	1.37	0.30	FARAH et al. <sup>5</sup> (1988)
Implante (Ti)	103.40	0.35	SERTGOZ & GUNEVER <sup>30</sup> (1996)
Componentes (Ti)	103.40	0.35	SERTGOZ & GUNEVER <sup>30</sup> (1996)
Estrutura de CoCr	185,0	0,35	WILLIAMS <sup>33</sup> (1981)
Resina Acrílica	8.30	0.28	DARBAR et al. <sup>4</sup> (1995)
Dentes Artificiais	8.30	0.28	DARBAR et al. <sup>4</sup> (1995)

TABELA 1 – Valores máximos e mínimos (de deslocamento e tensões de von Mises) para as diversas estruturas analisadas.

Estrutura	Modelo A		Modelo B		Modelo C		Modelo D	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Deslocamento geral	0	0,117422	0	0,11674	0	0,104275	0	0,103331
Tensão geral	0,163118	113,123	0,405248	106,822	0,014091	294,153	0,017044	263,084
Osso cortical	0,404533	82,676	0,405248	79,467	0,373354	86,333	0,374185	84,816
Osso esponjoso	0,574233	15,429	0,574773	13,219	0,496997	18,472	0,431237	18,464
Fibromucosa	0,163118	13,04	1,265	13,829	0,138381	13,311	0,087462	13,541
Estrutura Cr-Co	0,390779	113,123	7,202	106,822	3,613	111,4	5,315	84,602
Lig. Periodontal	0,538509	63,019	0,639215	50,378	0,882272	48,808	0,515719	42,284
Dentina/Esmalte	1,256	78,496	0,910607	75,567	0,898293	90,867	0,233613	77,652
Implante/Cicatrizador	-	-	-	-	0,014091	294,153	0,017044	263,084

A partir dos valores máximos e mínimos foram padronizados, a partir do máximo valor e mínimo para cada estrutura, uma nova plotagem dos resultados, possibilitando uma interpretação dos resultados a partir apenas da visualização gráfica das plotagens e valores de franjas coloridas.

*Mapas de deslocamento*

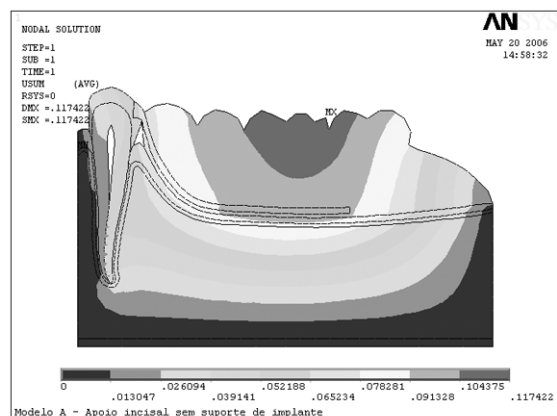


FIGURA 1 – Deslocamento geral do MA

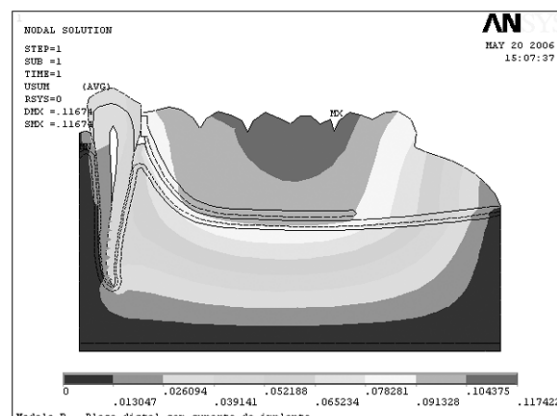


FIGURA 2 – Deslocamento geral do MB

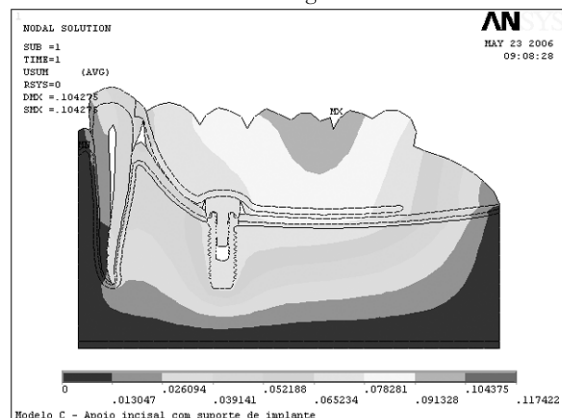


FIGURA 3 – Deslocamento geral do MC

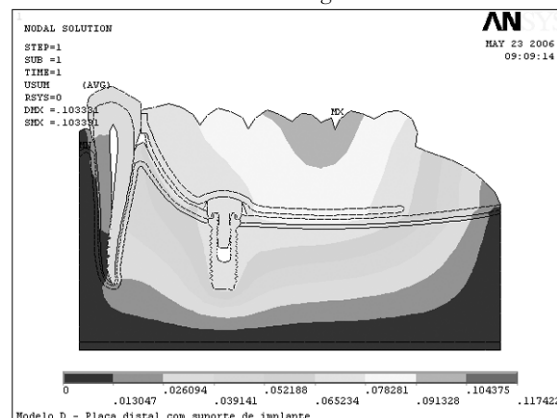


FIGURA 4 – Deslocamento geral do MD

Os mapas de deslocamento mostraram valores máximos próximos entre os modelos, com MA = 0,117422, MB = 0,11674, MC = 0,104275 e MD = 0,10331. A distribuição da tendência de movimento foi similar, com uma maior área de deslocamento na região da resina acrílica, diminuindo-se esta tendência até a base do modelo. A introdução da placa mostrou uma menor tendência à intrusão do dente suporte e uma maior tendência de intrusão da PPR ocasionada pela liberdade de movimento da placa distal, o que pode ser observado na região próxima ao dente suporte, na sua distal. As figuras 1 a 4 ilustram estas situações.

#### Mapas gerais de tensão de von Mises

Os mapas gerais de tensão de von Mises mostraram também distribuições similares de tensão, embora os valores máximos mostrarem variação nos resultados. As máximas foram de MA = 113,123, MB = 106,822, MC = 294,153 e MD = 263,084. As áreas que mostraram uma maior concentração das tensões foram o dente suporte, a estrutura metálica, além do implante, nos modelos que possuíam este associado. A introdução da placa distal resultou em uma diminuição dos níveis máximos de tensão, além de uma diminuição nas tensões observadas no próprio dente suporte, principalmente logo abaixo da região do apoio incisal. Para uma melhor interpretação, individualização de algumas estruturas foram realizadas.

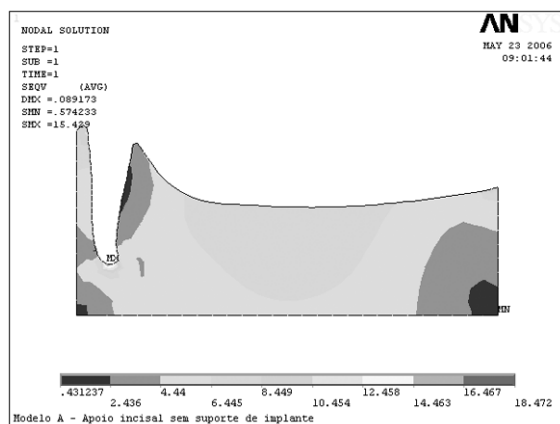


FIGURA 5 – Tensão de von Mises do osso esponjoso do MA

#### Mapa de tensão de von Mises do osso cortical

Pela análise individualizada do osso cortical foi possível notar que a introdução da placa gerou um aumento das tensões na região distal ao dente suporte, embora os valores máximos de tensão dos modelos com placa distal (MB e MD) serem menores que os valores dos modelos com apoio incisal (MA e MC). (Tabela 1)

#### Mapa de tensão de von Mises do osso esponjoso

A análise dos mapas de tensão de von Mises do osso esponjoso mostrou que a associação com a placa distal diminuiu os valores máximos de tensão, principalmente para os modelos com prótese convencional (Tabela 1). A região do rebordo desdentado distalmente ao dente suporte mostrou um aumento das tensões nos modelos que utilizaram a placa distal. Nos modelos que associaram implante como suporte na extremidade livre também foi possível notar a mesma tendência, apesar dos valores próximos ao ápice do implante praticamente não apresentarem alterações. Os pontos máximos e mínimos se mantiveram sempre nos mesmos locais nos modelos analisados. As figuras 5 a 8 mostram os mapas individualizados do osso esponjoso.

#### Mapa de tensão de von Mises da fibromucosa

A análise individualizada da fibromucosa mostrou resultados semelhantes entre os modelos.

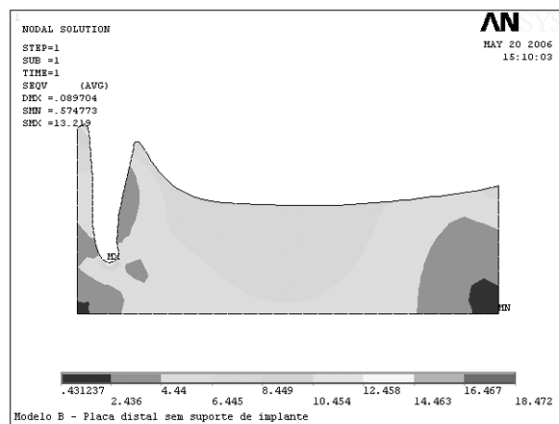


FIGURA 6 – Tensão de von Mises do osso esponjoso do MB

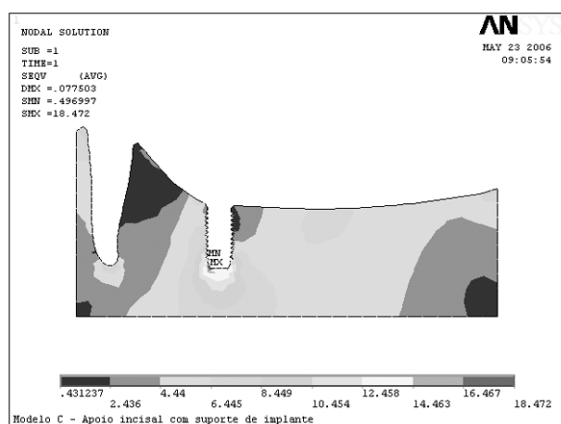


FIGURA 7 – Tensão de von Mises do osso esponjoso do MC

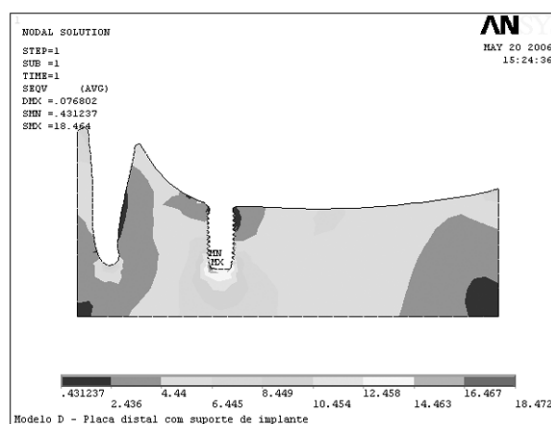


FIGURA 8 – Tensão de von Mises do osso esponjoso do MD

Os modelos com placa distal apresentaram valores numericamente maiores (Tabela 1), porém, não significativos. A região do rebordo desdentado próxima ao dente suporte se mostrou novamente com grande concentração de tensões quando a placa distal foi utilizada, tanto nos modelos con-

vencionais quanto nos modelos com implante associado. A introdução da placa gerou uma mudança dos pontos mínimos de concentração da região distal para a região mesial do dente suporte. As figuras 9 a 12 ilustram os mapas individualizados de tensão de von Mises da fibromucosa.

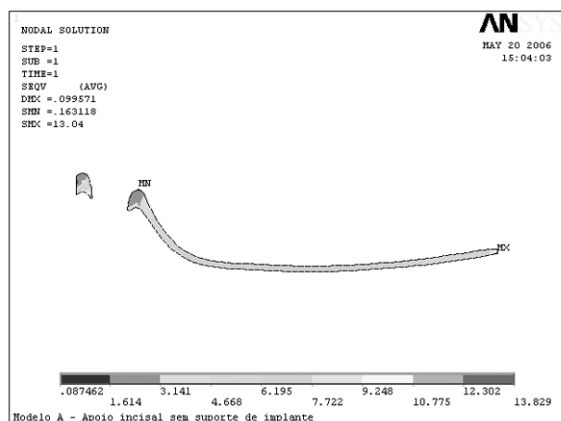


FIGURA 9 – Tensão de von Mises da fibromucosa do MA

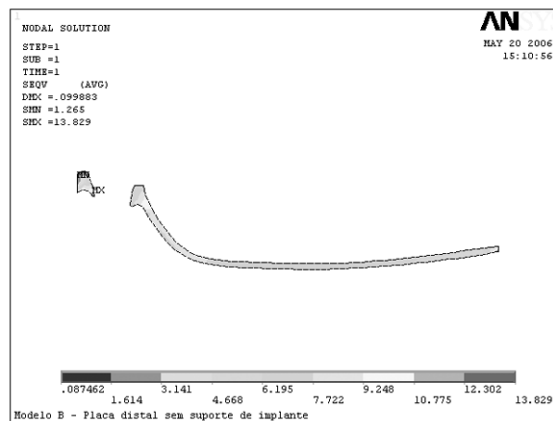


FIGURA 10 – Tensão de von Mises da fibromucosa do MB

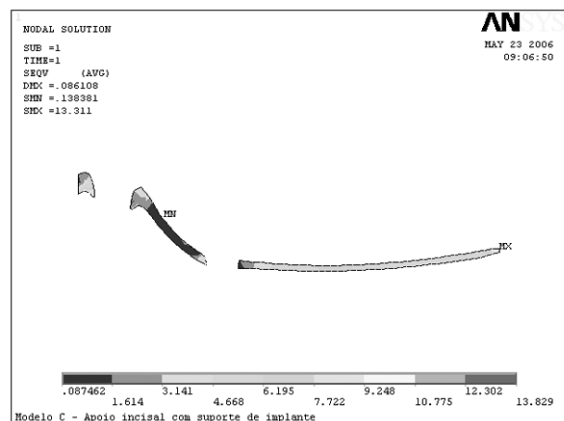


FIGURA 11 – Tensão de von Mises da fibromucosa do MC

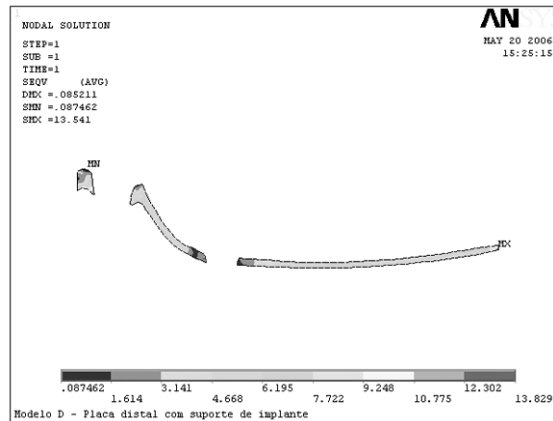


FIGURA 12 – Tensão de von Mises da fibromucosa do MD

#### *Mapa de tensão de von Mises da estrutura metálica*

A estrutura metálica mostrou redução nos níveis máximos de tensão quando a placa distal foi utilizada (Tabela 1). Entre o modelo A e B a redução das tensões foi de cerca de 6% e entre os modelos C e D foi de aproximadamente 24%. Os pontos máximos e mínimos entre os modelos A e B e entre os modelos C e D se mantiveram nos mesmos locais.

#### *Mapa de tensão de von Mises do ligamento periodontal*

A individualização do ligamento periodontal mostrou uma redução nos níveis máximos de tensão quando a placa distal foi associada de 20% entre os modelos A e B e de quase 14% entre os modelos C e D. (Tabela 1) Os pontos máximos de tensão se mantiveram no mesmo local nos quatro modelos e os pontos mínimos se mantiveram constantes entre os modelos com apoio incisal (Modelos A e C) e com placa (Modelos B e D).

#### *Mapa de tensão de von Mises do dente suporte*

O dente suporte foi individualizado em bloco, com dentina e esmalte sendo plotados em conjunto. A região do apoio incisal foi a área mais beneficiada pela utilização da placa distal, já que houve diminuição de tensões nesta área. A introdução da placa gerou uma diminuição das tensões máximas de quase 4% entre os modelos A e B e de quase 15% entre os modelos C e D.

#### *Mapa de tensão de von Mises do implante osseointegrado*

A individualização do implante mostrou que a utilização da placa também diminuiu os níveis máximos de tensão em 11% quando a placa distal foi utilizada. A distribuição interna de ten-

sões foi semelhante entre os modelos e os pontos de máxima e mínima tensão permaneceram nos mesmos locais.

## **DISCUSSÃO**

São vários os problemas relacionados com a falta de estabilidade das PPRs e os métodos para se minimizá-las. Dentre eles está a utilização das placas distais no dente suporte adjacente ao espaço desdentado<sup>10, 21, 26</sup>. Elas funcionam como um guia durante a inserção e remoção das próteses, solicitando menos o dente suporte e permitindo o movimento vertical da PPR, aliviando-o. Neste estudo foi realizada uma comparação entre o sistema de conexão da PPR de extremidade livre, variando-se entre um apoio incisal e uma placa distal para se tentar avaliar as vantagens do uso da placa como elemento de conexão.

Quando são comparados os modelos com o apoio incisal (MA e MC) com os modelos com a placa distal (MB e MD), observa-se que os modelos com a placa distal tiveram uma tendência ao deslocamento levemente menor no dente suporte e levemente maior na região do rebordo adjacente ao dente suporte, devido a movimentação que a placa permite no eixo vertical. Observam-se nitidamente valores menores nos dentes suporte nos modelos que utilizam a placa distal, já que a placa não apresentava engastada a ele, o que está de acordo com os resultados encontrados por Cunha que também utilizou a placa distal. Além disso, sob análise de tensões, a área correspondente à distal do dente suporte se mostrou com maiores níveis quando o apoio incisal foi utilizado, indicando que a utilização da placa distal possibilitou uma maior movimentação da estrutura no eixo vertical e conseqüentemente menor torção, diminuindo os níveis de tensão.

Analisando os mapas gerais de tensão observamos que os modelos com a placa distal (MB e MD) apresentaram valores máximos de tensão menores, salientando o grande benefício da utili-



zação da placa distal em comparação ao apoio incisal. Tal resultado está de acordo com as observações clínicas de NAIRN<sup>21</sup> (1966), PEZZOLI et al.<sup>26</sup> (1988) e ITOH et al.<sup>10</sup> (2004). Porém, não são encontrados na literatura trabalhos de pesquisa comparando o benefício da placa distal com o apoio incisal ou oclusal, a não ser observações clínicas que sustentam os benefícios da placa distal.

A análise individualizada das estruturas de suporte possibilita verificar quais as estruturas que mais se beneficiam com a utilização da placa distal. Tanto o osso cortical como o osso esponjoso nos modelos com placa distal apresentaram valores máximos de tensão abaixo dos modelos com apoio incisal. No osso cortical as proporções se apresentaram semelhantes entre os modelos de próteses convencional (MA e MB) e entre os modelos com prótese associados ao implante (MC e MD), sendo os valores para os modelos com implante ligeiramente maiores, o que sugere que o implante funcione como um stop sobregarregando o próprio osso cortical. O mesmo não acontece com o osso esponjoso. A grande e nítida vantagem da placa distal se encontra nos modelos com a prótese convencional (MA e MB). Nos modelos associados ao implante (MC e MD) não existe diferença significativa de tensão máxima, o que sugere que quando o implante é colocado próximo ao dente suporte e é associado à PPR de extremidade livre a utilização da placa distal ou apoio incisal não é significativo. CUNHA<sup>3</sup> (2004) estudou a localização do implante na associação com o dente suporte utilizando a placa distal e concluiu que a melhor localização do implante é próximo ao dente suporte, como utilizado em nosso trabalho. Porém, clinicamente, pode ser observado que a utilização da placa tende a uma descarga das forças mastigatórias sobre o rebordo alveolar remanescente e implante. Além disso, a utilização de um sistema de retenção associado pode viabilizar a utilização da placa ao invés do apoio, por exemplo, em casos onde o suporte ósseo do dente suporte é reduzido<sup>25</sup>.

Em relação ao osso esponjoso, o maior nível de tensão foi no modelo com placa distal e implante associado. Entretanto, pelo fato do trabalho de CUNHA<sup>3</sup> (2004) não possuir um modelo com apoio incisal torna-se impossível a comparação direta dos resultados. Deve ser salientado ainda que na análise das franjas de tensão dos modelos individualizados para o osso cortical e esponjoso apesar da diminuição dos valores máximos obtidos com o uso da placa distal, a região distalmente ao dente suporte, tanto com o uso de prótese convencional quanto no uso de prótese associada a implante, mostrou-se com um discreto aumento dos níveis de tensão quando a placa foi utilizada, indicando que provavelmente a energia interna nestas estruturas seja dissipada nesta região quando da introdução da placa e justificando assim a diminuição nos valores máximos de tensão.

A fibromucosa apresentou valores máximos de tensão maiores nos modelos com a placa distal (MB e MD), o que mais uma vez pode ser associado ao movimento no eixo vertical da placa distal. Apesar de não analisar apoio incisal, CUNHA<sup>3</sup> (2004) observou em seu estudo que à medida que aproximava o implante do dente suporte diminuía os valores de tensão na fibromucosa. Isto ocorria por causa da aproximação do implante ao dente suporte que diminuía a amplitude do movimento no eixo vertical permitido pela placa distal. Assim, de certa forma os resultados deste estudo estão de acordo com o estudo de CUNHA<sup>3</sup> (2004), já que também mostra que o movimento vertical permitido pela placa tende a aumentar os valores de tensão na fibromucosa.

O ligamento periodontal apresentou valores de tensão máxima bem menores nos modelos que apresentavam a placa distal, permitindo concluir que a introdução da placa aliviou as tensões no dente suporte. Este resultado está de acordo com o trabalho de LUCAS<sup>17</sup> (2003), que também observou alívio de tensões no dente suporte pela análise do ligamento periodontal. Entretanto, utilizando metodologia semelhante à deste estudo,

ROCHA<sup>28</sup> (2001), VERRI<sup>32</sup> (2003), MARTIN Jr.<sup>18</sup> (2005) e SANTOS<sup>29</sup> (2005) não detectaram diferenças entre os modelos através da individualização do ligamento periodontal. Até mesmo o trabalho de ARCHANGELO<sup>1</sup> (2005), que procurou detectar as diferenças no ligamento periodontal concluiu que o implante não aliviou o dente suporte. Possivelmente o fato de ter analisado forças axiais e oblíquas possibilitou resultados mais evidentes no trabalho de LUCAS<sup>17</sup> (2003). Além disso, apesar do carregamento apenas com forças axiais neste estudo, o uso da placa distal pode ter contribuído para gerar diferenças de tensões detectáveis, mesmo sob metodologia semelhante a trabalhos anteriores, onde não foi possível verificar estas diferenças.

Em relação ao dente suporte, no conjunto dentina-esmalte, os modelos com placa distal apresentaram valores menores de tensão máxima. Esta diferença foi maior entre os modelos associado a implante (MC e MD). Estes resultados sugerem que a utilização em casos clínicos da placa distal ao invés de apoio incisal é mais viável, como também, baseado no trabalho de CUNHA<sup>3</sup> (2004), a melhor localização do implante é próximo ao dente suporte. Neste trabalho o implante incorporado nos modelos C e D está próximo ao dente suporte e, por este fato, clinicamente não há necessidade de um sistema de retenção a grampos no dente suporte, sendo suficiente um sistema de retenção apenas no implante, como mostrado por PELLIZZER & VERRI<sup>25</sup> (2006). Por estes autores, como a placa distal apresenta-se livre de fresagem lingual ou associada a grampos, pode ser explorado os seus benefícios de alívio a estruturas de suporte como osso cortical do dente suporte, o ligamento periodontal e o próprio dente suporte.

Finalmente, o uso da placa também reduziu os valores máximos de tensão no implante nos modelos onde este estava associado, mostrando que além dos benefícios para as estruturas de suporte o próprio implante também é favoreci-

do pela associação. A possibilidade de transmissão de cargas de maneira mais acentuada para a fibromucosa provavelmente diminuiu a quantidade de carga que foi transmitida ao implante. Apesar disso, deve ser ressaltado que a distribuição interna de tensões no implante entre os modelos C e D é semelhante e com valores muito próximos.

## CONCLUSÕES

1. A placa distal diminuiu a tendência de movimento do dente suporte tanto dos modelos com PPR convencional quanto nos modelos com implante osseointegrado associado.
2. Os modelos que incorporaram a placa distal melhoraram a distribuição interna de tensões de von Mises, principalmente pelo alívio do dente suporte;
3. A introdução do implante sob a base protética aliviou as estruturas de suporte analisadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARCHANGELO, C.M. **Prótese parcial removível de extremidade livre associada a um implante osseointegrado: influência do ligamento periodontal na distribuição interna das tensões**. Araçatuba, 2005. 174p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
2. BATTISTUZZI, P. G.; Van SLOOTEN, H.; KÄYSER, A. F. Management of an anterior defect with a removable partial denture supported by implants and residual teeth: a case report. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, v. 7, n. 1, p. 112-5, Spring, 1992.
3. CUNHA, L. D. A. P. **Avaliação da influência da localização do implante osseointegrado associado à PPR Classe I mandibular: estudo pelo método dos elementos finitos**. Araçatuba, 2004. 182p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
4. DARBAR, U. R.; HUGGETT, R.; HARRISON, A.; WILLIAMS, K. Finite element analysis of stress distribution at the tooth-denture base interface of acrylic resin teeth debonding from the denture base. *J. Prosthet. Dent.*, v. 74, n. 6, p. 591-4, dec. 1995.

5. FARAH, J. W.; CRAIG, R. G.; MEROUEH, K. A. Finite element analysis of a mandibular model. **J. Oral Rehabil.**, v. 15, n. 6, p. 615-24, nov. 1988.
6. GANZ, S. D. Combination natural tooth and implant-borne removable partial denture: a clinical report. **J. Prosthet. Dent.**, v. 66, n. 1, p. 1-5, jul. 1991.
7. GENG, J. P.; TAN, K. B.; LIU, G. R. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. **J. Prosthet. Dent.**, v. 85, n. 6, p. 585-98, jun. 2001.
8. GEORGE, M. A. Removable partial denture design assisted by osseointegrated implants. **J. Calif. Dent. Assoc.**, v. 20, n. 1, p. 64-6, jan. 1992.

Recebimento: 14/3/08

Aceito: 8/12/08

---

Endereço para correspondência:

R. Afonso Pena, 1338, V. Mendonça,  
CEP 16.015-040, Araçatuba-SP. Fones: (18) 3609-2944; (18) 3621-2960; (18) 8127-7635. Fax: (18) 3636-3245.

E-mail: fellippo@foa.unesp.br; fellippoverri@hotmail.com;  
ed.pl@uol.com.br.

Agradecemos ao prof. Eduardo Passos Rocha pela execução dos desenhos originais em AutoCAD.

Agradecemos à FUNDUNESP pelo apoio financeiro para a execução deste trabalho.

Agradecemos à FAPESP pelo apoio financeiro que possibilitou a aquisição do programa ANSYS 9.0.