

O uso da tecnologia da informação na modelagem computacional de sistemas biológicos

Rui H. Honda, Júlia A. Nogueira, Pedro Y. Noritomi, Jorge V. L. da Silva

{rui.honda,julia.nogueira,pedro.noritomi,jorge.silva}@cti.gov.br

Núcleo de Tecnologias Tridimensionais – NT3D CTI/MCTI Renato Archer – Campinas/SP

Abstract. *The use of tools and methods developed in the Engineering area in applications in the health area has become more frequent. In this sense, a simulation of an incisor tooth restored with a pin was performed, and the stress distribution behavior was analyzed when the length of this pin varied.*

Resumo. *A utilização de ferramentas e métodos desenvolvidos na área de Engenharia em aplicações na área da saúde tem se tornado cada vez mais frequentes. Nesse sentido, realizou-se uma simulação de um dente incisivo restaurado com pino, sendo analisados o comportamento da distribuição de tensões quando variado o comprimento desse pino.*

1. Introdução

O uso do Método dos Elementos Finitos (MEF), Finite Elements Method (FEM) em inglês, nos estudos ortodônticos tem sido cada vez mais comum. Originalmente desenvolvida para uso na área de Engenharia em análises estruturais de materiais não orgânicos, o método vem sendo adaptado para aplicações com materiais biológicos, sendo obtidos resultados bastantes satisfatórios e de bastante utilidade nas pesquisas de áreas biológicas (Negrissoli, 2015).

Se inicialmente o uso de organismos vivos para pesquisas da área da saúde eram uma das poucas maneiras de se obter algum resultado prático, atualmente a utilização de testes *in vivo* podem ser antecidos de estudos e análises computacionais que simulem os comportamentos biomecânicos. Esses estudos podem fornecer informações valiosas e um ponto de partida mais concreto aos pesquisadores. Os métodos computacionais também possuem como grande vantagem o fato de possibilitarem o controle de quase todos os parâmetros simulados, assim, a identificação de como um parâmetro influencia os resultados pode ser estudada mais facilmente (Brito et al., 2017).

Uma vez contextualizado o cenário geral do presente artigo, cabe neste momento explicar o objeto estudado e que será analisado nos próximos tópicos. Trata-se de identificar o comportamento de um dente incisivo central superior restaurado, sujeito a forças vestibulo-lingual e méso-distal quando variada a profundidade do pino utilizado nessa restauração.

2. Materiais e Métodos

Como de costume na aplicação da técnica de Elementos Finitos, iniciou-se o trabalho na etapa de pré-processamento, partindo de um modelo pronto de maxila (Fig.1), desenvolvido através das técnicas de BioCAD. Foi realizado um corte a fim de separar as partes de interesse restando, após esse procedimento, os seguintes componentes para simulação: osso cortical, osso trabecular, ligamento periodontal, raiz, coroa, bráquete, pino e núcleo. Cada um desses componentes tiveram suas superfícies tratadas no software Rhinoceros3D® a fim de corrigir pequenas imperfeições causadas às superfícies em decorrência dos cortes realizados na etapa anterior.

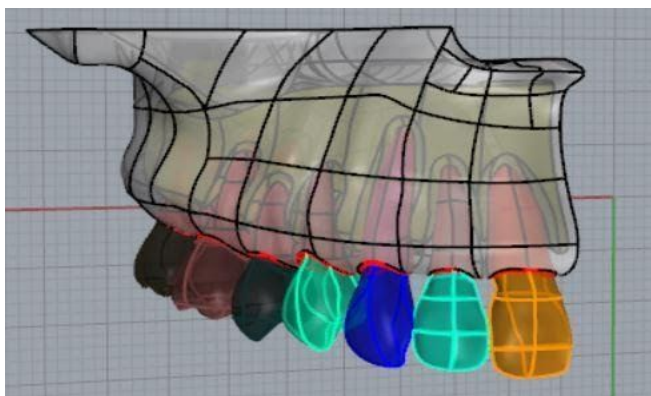


Figura 1. Maxila base. Fonte: próprio autor.

Ao final desse tratamento foi necessário introduzir as cavidades que representam as regiões onde foi retirado material orgânico durante a restauração e que virão a ser preenchidas pelo conjunto núcleo-pino. Nessa etapa, foi utilizado um modelo de núcleo e de pino desenvolvido dentro do NT3D, sendo adaptada a forma e as dimensões a fim de serem condizentes com o projeto. Também foi necessário modelar um bráquete, esse componente, ao contrário dos anteriores, foi modelado desde o início para aplicação neste projeto. Ao final dessa etapa o modelo, mostrado na Fig.2, pôde ser exportado para o software HyperMesh® para a criação das malhas bidimensional e tridimensional, necessária para implementação do Método de Elementos Finitos.

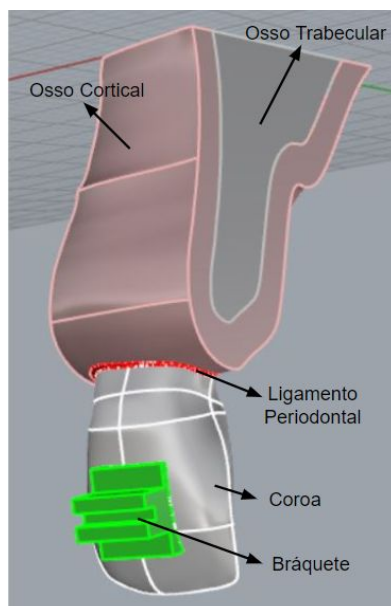


Figura 2. Modelo pronto para etapa de criação de malha. Fonte: próprio autor.

Optou-se por utilizar elementos tetraédricos de segundo grau na simulação. Para isso, foi gerada uma malha de elementos 2D triangulares que copiam as superfícies modeladas na etapa anterior. Assim, foi possível gerar os elementos 3D tetraédricos desejados inicialmente. Um parâmetro importante na geração de malha é o tamanho dos elementos, neste projeto procurou-se variar essa medida conforme a necessidade, uma vez que a diminuição do valor leva a elementos muito pequenos exigindo maior capacidade computacional que nem sempre se traduz em resultados mais precisos. Já valores muito grandes levam a elementos maiores e uma perda na precisão dos resultados. Nesse sentido, tomou-se o cuidado de realizar o refino da malha apenas em regiões necessárias e que teriam impacto na qualidade dos resultados. A figura 3 ilustra a malha 3D de elementos finitos gerada para o modelo.

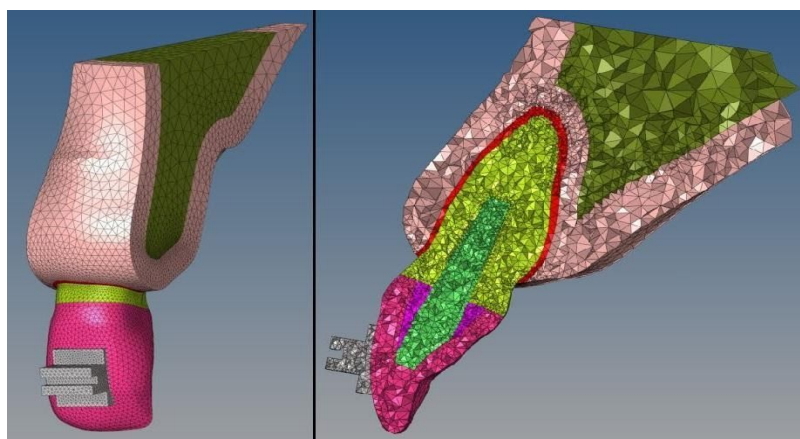


Figura 3. Malha 3D gerada. Fonte: próprio autor.

Uma vez criada a malha 3D, deve-se especificar as propriedades dos materiais empregados, para simulação bastam dois parâmetros, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson. A tabela 1 fornece esses dados, sendo os valores levantados a

partir de literaturas variadas. Vale ressaltar que o pino de fibra de vidro possui propriedade ortotrópica e que a direção mais rígida foi orientada na direção do comprimento do pino.

Tabela 1. Propriedades dos materiais empregados na simulação.

Componente	Material	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coefficiente de Poisson
Raiz	Dentina	18,6	0,31
Coroa	Zircônia	205	0,30
Ligamento Periodontal	Ligamento Periodontal	6,89E-05	0,45
Osso Cortical	Osso Cortical	13,7	0,30
Osso Trabecular	Osso Trabecular	1,37	0,30
Núcleo	Resina Composta	12	0,33
Pino	Fibra de Vidro	Ex = 37 Ey = 9,5 Ez = 9,5	vxy = 0,27 vxz = 0,34 vyz = 0,27
Bráquete	Metálico	210	0,30

Outra etapa necessária para realização da simulação é a definição de como ocorre os contatos entre os componentes. Nesta simulação foram empregados apenas contatos “colados” ou “congelados”, que simulam a aderência completa entre as superfícies não permitindo deslizamento entre elas.

Por fim faz-se necessário informar ao software de simulação os pontos de aplicação de forças e pontos de fixação. Duas forças foram aplicadas na superfície do bráquete (ver Fig.4) sendo uma com direção vestibulo-lingual com sentido lingual (intensidade de 0,1 kgf ou 0,98 N) e uma na direção mésio-distal com sentido distal (intensidade de 0,05 kgf ou 0,49 N). Quanto às regiões fixadas, optou-se por fixar os nós das faces que sofreram corte como pode ser visto na Fig. 5.

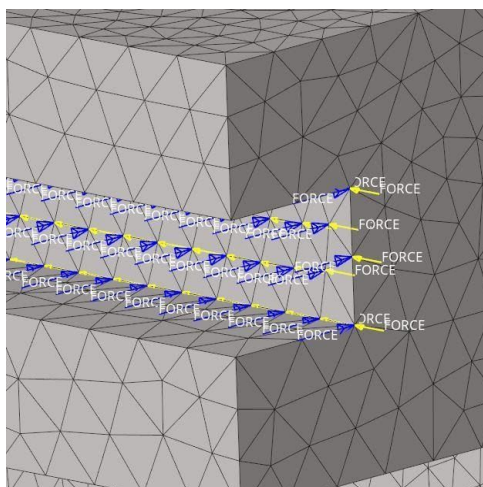


Figura 4. Forças aplicadas na superfície do bráquete: 0,98 N na direção vestibulo-lingual (seta azul) e 0,49 N na direção mésio-distal (amarela). Fonte: próprio autor.

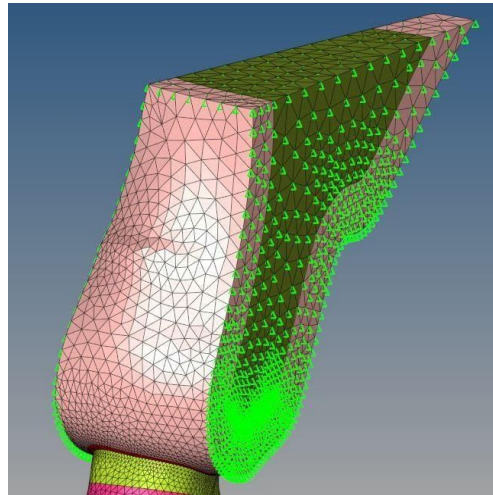


Figura 5. Nós fixados. Fonte: próprio autor.

Assim, a simulação pôde finalmente ser rodada, sendo seus resultados apresentados e comentados na seção seguinte.

3. Resultados e Discussão

Considerando o objetivo do projeto, que é a observação de como o comprimento do pino influencia no comportamento do dente restaurado, a análise mais apropriada é de tensão de Von Mises. Os componentes mais relevantes na análise são o ligamento periodontal (Fig.6) e o conjunto núcleo-pino (Fig.7).

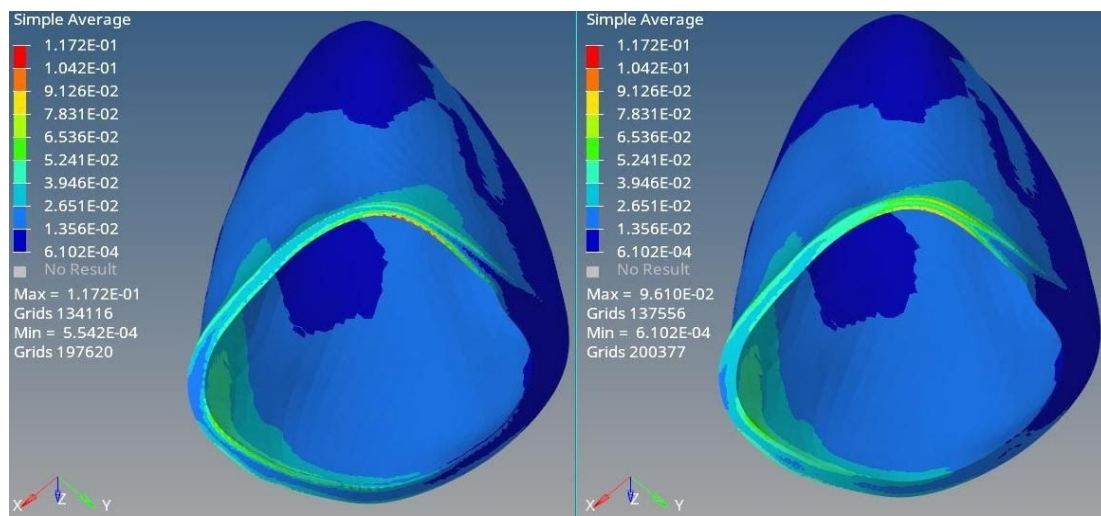


Figura 6. Comparação entre ligamentos. Fonte: próprio autor.

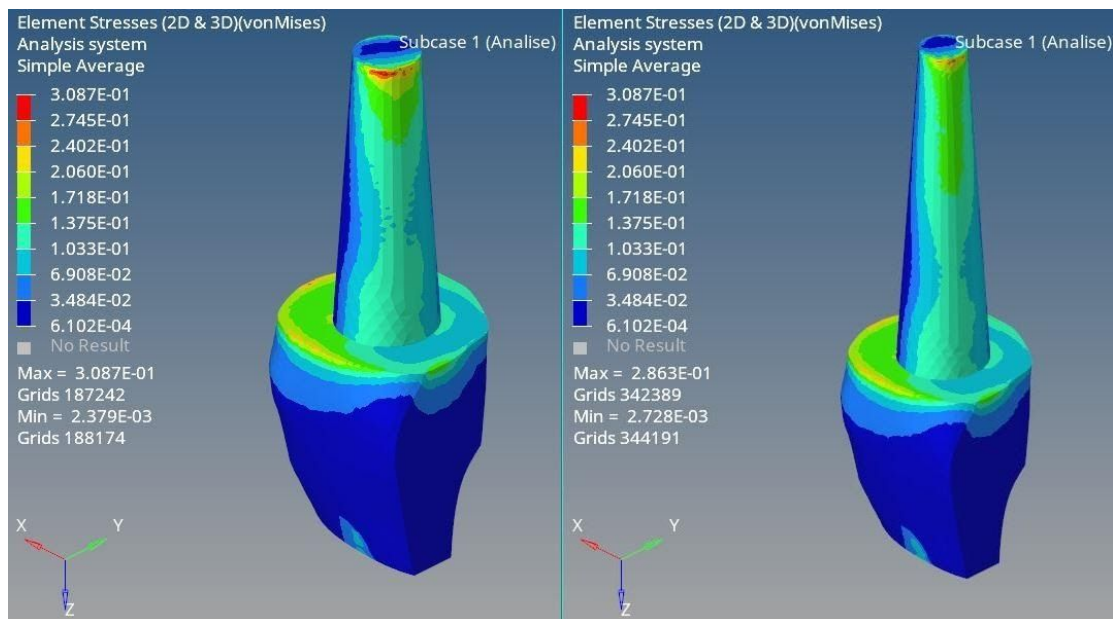


Figura 7. Comparação entre conjuntos núcleo-pino. Fonte: próprio autor.

Analisando os resultados, observamos que o acréscimo de comprimento possui uma influência mínima no valor e no padrão das tensões, tanto no ligamento (Fig.6) quanto no conjunto núcleo-pino (Fig.7). Embora os valores de tensão máximos tenham diminuído um pouco com o aumento do comprimento do pino, essa mudança não parece ser significativa o suficiente a ponto de representar uma conclusão clara de que o modelo com maior comprimento seja melhor do que o de menor comprimento.

Outro ponto interessante de se observar é o comportamento do pino que foi modelado de maneira ortotrópica, como a direção mais rígida é a direção do comprimento, o padrão de tensão é claramente modificado, se “alinhando” com essa direção.

4. Conclusão

Através deste trabalho, foi possível utilizar um dos métodos mais úteis da área da Engenharia, o Método dos Elementos Finitos, em uma aplicação da área ortodôntica. Tal fato mostra como ferramentas podem ser adaptadas e utilizadas em outras áreas. Em termos de resultados chegou-se a conclusão preliminar de que o acréscimo de comprimento não acarreta em mudanças significativas para as estruturas orgânicas, vale, porém, ressaltar que trata-se de um resultado obtido através de uma simulação computacional, outras análises podem e devem ser realizadas para continuidade do estudo.

5. Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPQ/PIBIC pela concessão da bolsa e pelo estímulo a pesquisa. Ao orientador pela contribuição no desenvolvimento do projeto e aos colegas do NT3D pelos ensinamentos e apoio durante todo o período de estudos, em especial ao Pedro Noritomi e à Júlia Nogueira pelas orientações.

6. Referências

BRITO, J. V. C. et al. Aplicação de elementos finitos na odontologia: uma revisão de literatura. Revista Bahiana de Odontologia, v. 8, n. 3, p. 90-93, 29 set. 2017. Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública.

NEGRISOLI, L. Aplicabilidade do Método dos Elementos Finitos na Ortodontia: Revisão de literatura. 2015. 64 f. TCC - Curso de Odontologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.