

# MODELO MATEMÁTICO PARA PREVISÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS LIMAS ENDODÔNTICAS: REVISÃO DE LITERATURA

## MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING MECHANICAL PROPERTIES OF ENDODONTIC FILES: REVIEW OF LITERATURE

KALENA DE MELO **MARANHÃO**<sup>1</sup>, ANA CÁSSIA DE SOUZA **REIS**<sup>2\*</sup>, PABLO **MARANHÃO**<sup>3</sup>

1. Cirurgiã-Dentista, Mestre em Odontologia pela Universidade Federal do Pará, Docente do Curso de Graduação em Odontologia da Faculdade Maurício de Nassau (UNINASSAU); 2. Cirurgiã-Dentista, Mestre em Odontologia pela Universidade Federal do Pará, Docente do Curso de Graduação em Odontologia da Escola Superior da Amazônia (ESAMAZ); 3. Médico, Especialista em Medicina da Família e Comunidade pela Universidade Federal de Ciências da Saúde do Pará, Mestrando em Cirurgia Experimental pela Universidade Estadual do Pará.

\* Trav. São Francisco, 246 Apto 702, Campina, Belém, Pará, Brasil. CEP:66023-530. [anacassiareis@gmail.com](mailto:anacassiareis@gmail.com)

Recebido em 29/08/2018. Aceito para publicação em 18/09/2018

### RESUMO

O método de elementos finitos (MEF) tem sido uma metodologia proposta na avaliação laboratorial do comportamento mecânico dos instrumentos endodônticos, bem como as potencialidades que esse recurso apresenta para a pesquisa laboratorial. Foi realizada uma revisão de 30 artigos na literatura acerca do método dos elementos finitos (MEF) para avaliar se o método é uma alternativa vantajosa no estudo do comportamento mecânico das limas endodônticas. A fratura dos instrumentos endodônticos está atrelada à geometria do produto e o método dos elementos finitos permite analisar com maior precisão a distribuição de tensão ao longo do instrumento. Diante das informações colhidas na literatura, esse método permite o acesso a informações que são muito difíceis de serem obtidas com outros testes mecânicos em laboratório, sendo assim, uma ferramenta valiosa para ajudar as equipes de engenharia em tarefas importantes no desenvolvimento ou ajuste de um produto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise de elemento finito, odontologia, limas endodônticas.

### ABSTRACT

The finite element method (MEF) has been a methodology proposed in the laboratory evaluation of the mechanical behavior of endodontic instruments, as well as the potential of this resource for laboratory research. A review of 30 articles in the literature on the finite element method (MEF) was carried out to evaluate if the method is an advantageous alternative in the study of the mechanical behavior of endodontic files. The fracture of the endodontic instruments is linked to the geometry of the product and the finite element method allows to analyze with greater precision the distribution of tension throughout the instrument. Given the information gathered in the literature, this method allows access to information that is very difficult to obtain with other mechanical tests in the laboratory, thus being a valuable tool to assist engineering teams in important tasks in the development or adjustment of a product.

**KEYWORDS:** Finite element analysis, dentistry, endodontic files.

### 1. INTRODUÇÃO

As limas endodônticas são instrumentos empregados na preparação dos canais radiculares. Estes instrumentos apresentam pequenas dimensões, forma e geometria com variações bruscas de dimensões, conseqüentemente, apresentam um grande número de pontos considerados como concentradores de tensão<sup>1</sup>.

Por meio da microscopia eletrônica pode-se observar que as superfícies das limas comerciais apresentam marcas de usinagem, cavacos se soltando e outros defeitos que induzem a falha prematura do instrumento. Além destas características deletérias, durante o preparo químico mecânico do canal radicular, os instrumentos endodônticos são submetidos a severo estado de tensão e de deformação que variam com a anatomia do canal e com a habilidade do profissional. Nesta fase, os instrumentos sofrem carregamentos extremamente adversos que modificam continuamente o seu encruamento, resistência à tração, à compressão, à torção e à flexão. Por esta razão, em alguns casos, observa-se à falha do instrumento no interior do canal<sup>2,3</sup>.

Assim, a busca por um material resistente à fratura reflete-se na constante introdução de novos produtos no mercado odontológico. Embora essa renovação frequente de produtos seja uma conseqüência da evolução tecnológica e aprimoramento dos conhecimentos, apresenta-se também como um desafio aos profissionais que se encarregam de avaliar esses produtos. Assim, a velocidade de produção de dados clínicos, nem sempre acompanha a velocidade de renovação e substituição dos produtos. Os estudos laboratoriais são imediatos, porém, não são completos e não permitem uma avaliação global e respectiva extrapolação direta para a previsão do comportamento clínico dos materiais<sup>1-3</sup>.

Retief (1991)<sup>4</sup> considera, entretanto, que os testes laboratoriais são particularmente interessantes aos

fabricantes que, em um curto espaço de tempo, podem avaliar seus materiais, corrigir deficiências e implementar melhorias.

Diante do número razoável de testes disponíveis para a avaliação das tensões exercidas nas limas endodônticas, cabe ao pesquisador conhecer as vantagens e limitações para que selecione o mais adequado para testar as hipóteses levantadas em seu projeto. Assim, este trabalho faz uma apresentação e discussão do teste mecânico empregando o método de elementos finitos.

## Método dos Elementos Finitos

A aplicação da Matemática na Odontologia não é recente e oferece uma maneira de calcular a distribuição, concentração de estresse e deformações nos materiais utilizados na prática odontológica<sup>5-11</sup>.

O método dos elementos finitos tem desempenhado um papel essencial nos ensaios experimentais na endodontia, como a distribuição de tensões nas limas endodônticas, ou seja, o comportamento mecânico<sup>2,3</sup>.

Além de estar sendo empregado como auxiliar para a visualização e interpretação da distribuição e propagação das tensões geradas em corpos-de-prova sob uma determinada carga, ou seja, é uma técnica pela qual pode ser recriado matematicamente o comportamento de um sistema físico determinado<sup>2,3</sup>.

Este método faz uso de um computador para resolver um grande número de equações matemáticas, as quais simulam as propriedades físicas da estrutura a ser analisada, permitindo a localização, no modelo, dos pontos onde as tensões estão sendo geradas.

O método possui duas características especiais: os elementos finitos e as funções de interpolação. Os elementos finitos são subdivisões do modelo, pequenas o suficiente para tornar viáveis as abordagens analíticas em cada um desses elementos e na combinação dos seus efeitos. Esses elementos são montados, formando uma estrutura de forma determinada. Os elementos são interconectados por seus pontos nodais ou nós, que são pontos de união entre os elementos. As funções de interpolação permitem, uma vez determinados os deslocamentos em cada nó, interpolar deslocamentos e calcular deformações e tensões em qualquer ponto da estrutura<sup>1-3,6-15</sup>.

As informações essenciais requeridas para o estudo de uma estrutura através do método dos elementos finitos são: Modelagem geométrica, onde cria-se um modelo matemático (geométrico) do objeto em estudo. Tipicamente, isto é realizado em um programa de computador capaz de produzir um modelo matemático da estrutura mecânica em consideração. Posteriormente, subdivide-se o modelo geométrico em elementos, interconectados por seus pontos nodais ou nós, os quais se encontram no sistema de coordenadas X,Y Z. O

conjunto resultante é chamado de malha. Para a criação dessa malha, as propriedades dos materiais, que esta representa, têm que ser designados<sup>1-3,6-15</sup>.

As propriedades dos materiais necessárias para que o programa possa resolver o sistema de equações são: a) Módulo de elasticidade: o módulo de elasticidade é definido como a relação existente entre o esforço específico e a elongação específica (unitária). Este valor geralmente é obtido mediante um ensaio físico de tração ou compressão. O módulo de elasticidade é basicamente o grau de elasticidade de um material. Isso quer dizer que, quando o módulo de elasticidade de um material for grande para uma força aplicada, a deformação linear do material será pequena. b) Coeficiente de Poisson: o coeficiente de Poisson é definido, como a relação que existe, quando aplicada uma carga em um corpo, entre o sentido da aplicação da carga e a deformação do corpo no sentido contrário. Isso quer dizer que, quando se produz uma força ao longo do eixo X de um material, produz-se também uma deformação nos eixos Y e Z<sup>16</sup>.

Logo a seguir, é conferido ao modelo matemático as condições de fixação e carregamento, que simularão o modelo físico real, dessa forma, são realizadas as análises, onde se calculam os resultados (deslocamentos, tensões e deformações), ou seja, as respostas do modelo às solicitações de maneira estática, dinâmica ou térmica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo trata de uma revisão narrativa da literatura que tem como enfoque: avaliar se o método é uma alternativa vantajosa no estudo do comportamento mecânico das limas endodônticas. A literatura selecionada abrange artigos de 1992 a 2018, incluindo o artigo clássico de 1943, disponíveis no banco de dados. Durante o levantamento bibliográfico, os critérios de exclusão foram: artigos em duplicata; artigos que não abordaram o tema proposto. A revisão consistiu na busca de artigos com os descritores: métodos de elementos finitos, odontologia, endodontia. A seleção foi obtida por meio da consulta ao banco de dados PubMed e Bireme, totalizando 30 artigos científicos.

## 3. DISCUSSÃO

Vários trabalhos na literatura têm empregado a análise por elemento finito. Desenvolveu-se no início dos anos 60 para auxiliar a indústria aeroespacial e hoje tem uma gama variada de aplicações<sup>15</sup>.

Inicialmente, desenvolveu-se a análise bidimensional para problemas mais simples e posteriormente evoluiu para modelos tridimensionais para análises mais complexas. Segundo, Dehoff, Anusavice, Wang (1995)<sup>17</sup> a análise por elemento finito bidimensional, embora seja muito semelhante à análise tridimensional, não possibilita a aquisição de informações sobre a concentração de tensões em outras áreas distantes daquela onde foi

aplicada a força, sendo necessária a compreensão completa do estado de estresse causado por essas áreas de tensão.

Sabe-se que as propriedades mecânicas, como rigidez de torção e flexão são dependentes do desenho geométrico dos instrumentos endodônticos e influenciam diretamente na segurança, no desempenho mecânico destes instrumentos e na qualidade do preparo do sistema de canais radiculares<sup>18</sup>. A análise de elementos finitos (AEF), tem sido utilizada visando proporcionar uma investigação do comportamento mecânico, identificar os benefícios e as limitações de diferentes geometrias e a melhoria das qualidades mecânicas dos instrumentos endodônticos rotatórios de Ni-Ti durante a instrumentação em vários sistemas de canais<sup>19,20</sup>, uma vez que proporciona uma análise dinâmica das propriedades mecânicas das limas rotórias, o que aproxima do comportamento esperado pelo instrumento no sistema de canais radiculares, que ocorre uma rotação dinâmica<sup>21,22</sup>.

Weinstein *et al.* (1976)<sup>23</sup> foram os primeiros a utilizar o MEF em implantodontia. Posteriormente, outros autores utilizaram a modelagem por elementos finitos para analisar as limas endodônticas, tais como Necchi *et al.* (2008)<sup>24</sup>, que desenvolveram um modelo geométrico para análise de elementos finitos (AEF) para estudo de instrumentos endodônticos rotatórios a fim de estabelecer o comportamento mecânico desses instrumentos durante o preparo do canal radicular e observaram que canais curvos determinam uma tensão maior no instrumento com maiores níveis de estresse, assim exigindo mais das propriedades mecânicas, principalmente nas áreas onde o diâmetro é maior, evidenciando que a reutilização desses instrumentos submetidos a grande estresse pode ocorrer em danos e risco de fratura, sendo aconselhável o descarte após o uso em canais curvos.

Assim, a análise de elemento finito pode ser utilizada para a avaliação do comportamento mecânico do instrumento endodôntico, principalmente aqueles fabricados de Ni-Ti, os quais apresentam a propriedade de memória de forma e padrão geométrico distinto, onde aqueles que apresentam diferenças da geometria no mesmo instrumento são mais susceptíveis a fratura<sup>25</sup>. Além disso os instrumentos apresentam diferenças comportamentais, tanto a nível de tensão de flexão, como de torque, de modo que o clínico, e principalmente o Endodontista, deve ter a ciência e saber usar cada lima de acordo com a situação clínica e as recomendações do fabricante<sup>26</sup>.

Zhang *et al.* (2011)<sup>27</sup>, utilizaram fórmulas matemáticas e parâmetros geométricos para expressar tensões de flexão e torção e deformidade de instrumentos rotatórios de Ni-Ti e observaram que AEF é um modelo matemático viável para analisar as propriedades mecânicas e prever o estresse, a tensão e a deformidade a que o instrumento endodôntico está submetido quando do

uso durante o preparo do canal radicular.

Cheung *et al.* (2011)<sup>28</sup>, utilizaram a AEF para avaliar o tempo de vida útil de limas endodônticas de Ni-Ti e aço inoxidável quanto a fadiga de flexão e observaram que este tipo de análise é eficaz na prevenção a fratura por fadiga prematura das limas endodônticas.

Montalvão & Alçada (2011)<sup>29</sup>, avaliaram as propriedades mecânicas flexão e torção estático de duas limas rotórias de Ni-Ti, ProFile GT e GT Series X (GTX), sendo esta última processada termomecanicamente (M-Wire) a fim de apresentar maior flexibilidade, segundo o fabricante, e observaram que embora não reflitam totalmente o comportamento dinâmico do instrumento em um sistema canais radiculares, os resultados estáticos mostraram que a lima GTX é mais flexível e capaz de aliviar o estresse nas seções mais críticas quando comparada a lima GT, podendo assim apresentar menor risco de fratura dentro dos canais radiculares durante seu uso clínico.

Em outro estudo, Montalvão *et al.* (2014)<sup>21</sup>, utilizaram as mesmas limas rotórias, a fim de avaliar o comportamento dinâmico do instrumento e observaram que a lima GTX apresentou menor risco de fratura por fadiga, quando a lima se deformava devido a geometria do canal radicular. Porém, os resultados do ponto de vista da resistência mecânica foram semelhantes entre as limas quando não havia deformidade devido a geometria do canal.

Por conseguinte, analisando a mesma geometria dos instrumentos endodônticos rotatórios de Ni-Ti, os instrumentos M-Wire podem ter uma vida útil mais longa que os convencionais, pelo fato do primeiro ser mais resistente à falha que o segundo, devido sua dureza aumentada que é atribuída à estrutura especial de martensítica, levando também a maior eficiência de corte<sup>30</sup>.

Ainda, de Arruda Santos *et al.* (2014)<sup>22</sup>, avaliaram a flexibilidade e rigidez torcional de três instrumentos rotatórios de Ni-Ti e observaram que AEF a partir de modelos geométricos obtidos por micro-tomografia é eficaz quando se refere ao comportamento mecânico de instrumentos endodônticos, proporcionado uma redução nas falhas dos instrumentos sob flexão e torção.

Ha *et al.* (2015)<sup>19</sup>, desenvolveram um protótipo de instrumento rotatório de Ni-Ti com propriedades mecânicas intermediárias, baseado nos resultados de testes mecânicos que avaliaram a resistência à fadiga cíclica, resistência à torção e força de rosqueamento e a análise de elementos finitos de dois tipos de limas existentes no mercado, evidenciando que o protótipo apresentou resultados aos testes mecânicos melhores que as duas limas testadas, concluindo que a análise de elementos finitos pode proporcionar uma otimização das propriedades mecânicas dos instrumentos rotatórios.

Diante do exposto, o método (MEF) ganhou certa

atenção da comunidade odontológica, pois a partir dos resultados obtidos com o método é possível prever as tensões atuantes, verificar a ocorrência de fratura do componente (produto) e também eliminar algumas etapas de desenvolvimento do produto, já que os fabricantes buscam investir em mudança de parâmetros geométricos das limas endodônticas com intuito de diminuir a sobrecarga de torção ou fadiga por flexão do instrumento durante o preparo de canais curvos.

#### 4. CONCLUSÃO

Pode-se dizer, portanto, que existem vantagens e desvantagens inerentes à simulação numérica computacional, através dos modelos de Elementos Finitos, e apesar de bastante eficiente, não se torna uma solução única e independente aplicada aos problemas de projetos estruturais. Uma das etapas mais importantes e difíceis na solução através do MEF é a criação do modelo, pois é nesta fase que se deve representar todos os detalhes da estrutura real no modelo a ser simulado. A precisão do MEF está intrinsecamente associada ao modelo de Elementos Finitos, que busca representar as características físicas da estrutura real. Como visto, algumas simplificações foram feitas relativas ao modelo, principalmente quanto à forma geométrica para acomodar mais facilmente a introdução de variáveis. Modelagens mais complexas são possíveis, desde que os dados sejam adequadamente transferidos para o computador. De outra forma, deve-se observar também que o sucesso da criação do modelo, depende fundamentalmente da experiência do pesquisador sobre o problema físico a ser analisado e ainda das informações técnicas disponíveis, a serem introduzidas na análise ou observadas na solução.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Teixeira ER, Sato Y, Akagawa Y, Shindoi N. A comparative evaluation of mandibular finite element models with different lengths and elements for implant biomechanics. *J Oral Rehabil* 1998; 25(4):299-303.
- [2] Lehmann RB, Elias CN, Gouvêa JPde. Análise por elementos finitos de lima endodôntica. In: I Congresso da Sociedade Brasileira de Biotecnologia. Biotec 2001; 1:12-14.
- [3] Elias CN, Lehmann RB, Gouvêa JPde. Simulação da torção de limas endodônticas por elementos finitos. In: II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Conem 2002; 1:1-10.
- [4] Retief HD. Standardizing laboratory adhesion tests. *Am J Dent* 1991; 4(5):231-236.
- [5] Courant R. Variational methods for the solutions of problems equilibrium and vibrations. *BULL AM MATH SOC* 1943; 49.
- [6] Watanabe F, Hata Y, Komatsu S, Ramos TC, Fukuda H. Finite element analysis of the influence of implant inclination, loading position, and load direction on stress distribution. *Odontology* 2003; 91(1):31-6.
- [7] Meijer HJ, Kuiper JH, Starmans FJ, Bosman F. Stress distribution around dental implants: influence of superstructure, length of implants, and height of mandible. *J Prosthet Dent* 1992; 68(1):96-102.
- [8] Sertgoz A, Guvener S. Finite element analysis of the effect of cantilever and implant length on stress distribution in an implant-supported fixed prosthesis. *J Prosthet Dent* 1996; 76(2):165-169.
- [9] Himmlova L, Dostalova T, Kacovsky A, Konvickova S. Influence of implant length and diameter on stress distribution: a finite element analysis. *J Prosthet Dent* 2004; 91(1):20-5.
- [10] Berutti E, Chiandussi G, Gaviglio I, Iba A. Comparative analysis of torsional and bending stresses in two mathematical models of nickel-titanium rotary instruments: ProTaper versus ProFile. *J Endod*. 2003; 29(1):15-9.
- [11] Papavasiliou G, Kamposiora P, Bayne SC, Felton DA. Three-dimensional finite element analysis of stress-distribution around single tooth implants as a function of bony support, prosthesis type, and loading during function. *J Prosthet Dent* 1996;76(6):633-40.
- [12] Geng JP, Tan KB, Liu GR. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2001; 85(6):585-98.
- [13] Menicucci G, Mossolov A, Mozzati M, Lorenzetti M, Preti G. Tooth-implant connection: some biomechanical aspects based on finite element analyses. *Clin Oral Implants Res* 2002; 13(3):334-41.
- [14] Tada S, Stegaroiu R, Kitamura E, Miyakawa O, Kusakari H. Influence of implant design and bone quality on stress/strain distribution in bone around implants: a 3-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003; 18(3):357-68.
- [15] Gomes H, Gonçalves E. Comparação entre o Método de Análise Isogeométrica e o Método dos Elementos Finitos. *TEMA* 2017; 18(1): 85-103.
- [16] Beer FP, Johnston Jr ER. *Resistência dos Materiais*. 4.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- [17] DeHoff PH, Anusavice KJ, Wang Z. Three-dimensional finite element analysis of the shear bond test. *Dent Mater* 1995; 11(2):126-131.
- [18] He R, Ni J. Design improvement and failure reduction of Endodontics files through finite element analysis: application to V-Taper file designs. *J Endod* 2010; 36(9):1552-1557.
- [19] Ha JH, Lee CJ, Kwak SW, El Abed R, Ha D, Kim HC. Geometric optimization for development of glide path preparation nickel-titanium rotary instrument. *J Endod* 2015; 41(6):916-919.
- [20] Necchi S, Petrini L, Taschieri S, Migliavacca F. A comparative computational analysis of the mechanical behavior of two nickel-titanium rotary Endodontics instruments. *J Endod* 2010; 36(8):1380-1384.
- [21] Montalvão D, Shengwen Q, Freitas M. A study on the influence of Ni-Ti M-Wire in the flexural fatigue life of Endodontics rotary files by using finite element analysis. *Mater Sci Eng C Mater Biol Apple* 2014; 1(40):172-179.
- [22] De Arruda Santos L, López JB, de Las Casas EB, de Azevedo Bahia MG, Buono VT. Mechanical behavior of three nickel-titanium rotary files: A comparison of numerical simulation with bending and torsion tests. *Mater Sci Eng C Mater Biol Apple* 2014; 1(37):258-263.

1. Weisntein AM, Klawitter JJ, Anand SC, Schuessler R. Stress analysis of porous rooted dental implants. *J Dent Res* 1976;55:772-777.
2. Necchi S, Taschieri S, Petrini L, Migliavacca F. Mechanical behavior of nickel-titanium rotary Endodontics instruments in simulated clinical conditions: a computational study. *Int Endod J* 2008;41(11):939-949.
3. Askerbeyli OS, Serper A. Influence of nickel-titanium rotary systems with varying tapers on the biomechanics behavior of maxillary first premolars under occlusal forces: a finite element analysis study. *Int Endod J* 2018;51(5):529-540.
4. Arbab-Chirani R, Chevalier V, Arbab-Chirani S, Calloch S. Comparative analysis of torsional and bending behavior through finite-element models of 5 Ni-Ti Endodontics instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011;111(1):115-121.
5. Zhang EW, Cheung GS, Zheng YF. A mathematical model for describing the mechanical behavior of root canal instruments. *Int Endod J* 2011;44(1):72-76.
6. Cheung GS, Zhang EW, Zheng YF. A numerical method for predicting the bending fatigue life of Ni-Ti and stainless steel root canal instruments. *Int Endod J* 2011;44(4):357-361.
7. Montalvão D, Alçada FS. Numeric comparison of the static mechanical behavior between ProFile GT and ProFile GT series X rotary nickel-titanium files. *J Endod* 2011;37(8):1158-1161.
8. El-Anwar MI, Youssef SA, Kataia EM, El-Wahab TM. Finite element study on continuous rotating versus reciprocating nickel-titanium instruments. *Braz Dent J* 2016;27(4):436-41.