

RESISTÊNCIA À FRATURA DE DENTES PRÉ-MOLARES RESTAURADOS UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Izabel Aparecida de Almeida

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia Av. João Naves de Ávila, 2120, Campus Santa Mônica, Bloco 1M Uberlândia MG, CEP: 38400-902

ialmeida@mecanica.ufu.br

Cleudmar Amaral de Araújo

cleudmar@mecanica.ufu.br

Carlos José Soares

Universidade Federal de Uberlândia / FOUFU – Av. Pará, 1720 Bl. 2B 01, Uberlândia/MG.

carlosjsoares@umuarara.ufu.br

Resumo. *Vários estudos clínicos têm indicado a necessidade de tratamentos restauradores diretos e indiretos em dentes tratados endodonticamente, por possuírem tendência a fratura. O tratamento endodôntico é indicado quando o tecido da polpa é agredido e pretende-se manter a estrutura dental. Diferentes técnicas restauradoras podem ser empregadas na estrutura do dente. Devido a facilidade de manipulação e a propriedades mecânicas favoráveis, o amálgama é o material restaurador de maior utilização, porém alguns estudos mostram que podem ocorrer fraturas de cúspides devido a propagação de microtrincas sob carregamento cíclico. Como alternativa existem técnicas diretas que utilizam resinas compostas, que devido a sua capacidade de adesão às estruturas dentais, ocorre um aumento na resistência a fratura. Entretanto, esta técnica restauradora apresenta problemas, principalmente, relativos a contração de polimerização, acabamento e polimento. Atualmente existem no mercado novas resinas denominadas cerômeros que possuem alta resistência a compressão e coeficiente de expansão térmica similar ao esmalte, porém possuem maior tendência de propagação de trincas e fraturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência à fratura da dentina de um pré-molar sujeito a uma carga aplicada. A resistência foi avaliada através da determinação do fator de intensificação de tensão para o modo I de abertura de uma trinca de borda iniciando na parte inferior do dente. O modelo bidimensional de elementos finitos levou em consideração os vários elementos constituintes do dente sujeito a uma restauração com resina composta.*

Palavras-chave: *tensões, mecânica da fratura, tratamentos endodônticos, elementos finitos, resinas compostas.*

1. INTRODUÇÃO

Vários estudos clínicos têm indicado a necessidade de tratamentos restauradores diretos e indiretos em dentes tratados endodonticamente, por possuírem tendência à fratura (Sorensen e Martinhoff, 1984). Visando manter a estrutura dental, quando o tecido da polpa é agredido indica-se o tratamento endodôntico. Fraturas e cáries podem levar a agressão direta da polpa (Leonardo et al., 1982). Diferentes técnicas restauradoras podem ser empregadas na estrutura do dente. Devido a facilidade de manipulação e propriedades mecânicas favoráveis, o amálgama é o material restaurador de maior utilização. Jagdish e Yodish (1990) mostraram que dentes restaurados com amálgama apresentaram fraturas de cúspides devido à propagação de microtrincas sob

carregamento cíclico. Como alternativa existem técnicas diretas que utilizam resinas compostas, que devido a sua capacidade de adesão as estruturas dentais, aumentam a resistência à fratura. Entretanto, esta técnica restauradora apresenta problemas, principalmente, relativos à contração de polimerização, acabamento e polimento (Leinfelder, 1997). Atualmente existem no mercado novas resinas denominadas cerômeros que possuem alta resistência à compressão e coeficiente de expansão térmica similar ao esmalte, porém possuem maior tendência de propagação de trincas e fraturas.

O método dos elementos finitos é uma importante técnica de análise de estruturas biomecânicas, uma vez que, devido a sua versatilidade é possível avaliar de maneira relativamente rápida e precisa o comportamento mecânico e fazer uma previsão da resistência à fratura dos materiais normalmente empregados nas restaurações (Rubin, C., 1983).

O objetivo deste trabalho é avaliar a resistência à fratura da dentina de um pré-molar sujeito a uma carga aplicada. A resistência foi avaliada através da determinação do fator de intensificação de tensão para o modo I de abertura de uma trinca de borda iniciando na parte inferior do dente. O modelo bidimensional de elementos finitos levou em consideração os vários elementos constituintes do dente sujeito a uma restauração com resina composta.

2. MECÂNICA DA FRATURA

Durante o processo industrial de fabricação de componentes estruturais, a ocorrência de defeitos ou impurezas do material não pode ser totalmente evitada, e é a partir desses defeitos que as trincas surgem, para citar um exemplo. Como intuito de qualificar, quantificar e prever a vida útil desses componentes ou evitar situações de risco é que surgiu a Mecânica da Fratura.

A Mecânica da Fratura é dividida em dois campos: a Mecânica da Fratura Linear (MFL) e a Mecânica da Fratura Elasto-plástica (MFEP). Em ambos os campos são determinados alguns parâmetros de carregamento sobre a propagação de trincas que medem a resistência à fratura de determinada estrutura. Alguns desses parâmetros são: Fator de Intensificação de Tensão (KI), Taxa de Liberação de Energia(G), CTOD e Integral J. Na MFL estaremos investigando o KI.

2.1 Mecânica da Fratura Elástica Linear

Um material fratura quando um nível de tensão aplicado é suficiente para quebrar as ligações atômicas do material. Esta tensão coesiva é possível de prever utilizando técnicas da mecânica da fratura. Uma trinca pode formar-se ou propagar-se quando a energia total diminui ou permanece constante. Normalmente, na ponta da trinca o nível de tensão pode ser da ordem que leva a uma pequena região de deformação plástica. Desde que esta região seja pequena pode-se utilizar os parâmetros da Mecânica da Fratura Elástica Linear para prever a resistência a fratura do material (Anderson, T. L., 1995). Neste caso, os dois parâmetros normalmente utilizados são a taxa de liberação de energia (G) e o fator de intensificação de tensões que pode ser determinado em função do tipo de abertura da trinca. Para uma placa semi-infinita com uma trinca de borda o fator de intensificação de tensões (KI) é dado por:

$$KI = 1.12\sqrt{\pi a} \quad (1)$$

Onde o parâmetro a representa o tamanho da trinca, sendo medido em milímetros (mm) e o fator de intensificação de tensão medido em $\text{MN/m}^{3/2}$. Conhecendo-se o parâmetro KI é possível avaliar se a trinca tende a se propagar dependendo do conhecimento de um valor de resistência a fratura padrão (K_{Ic}) para o material analisado. O valor de K_{Ic} normalmente é determinado através de ensaios experimentais.

2.2 Mecânica da Fratura Elasto-Plástica

A aplicação da Mecânica da Fratura Elástica Linear (MFEL) está limitada a situações onde a plastificação na ponta da trinca é restrita, ou seja, pequena quando comparada com as dimensões da trinca. Infelizmente, em muitas aplicações práticas os materiais possuem uma tenacidade relativamente alta o que impede que tais limitações sejam respeitadas. Apenas nos casos de materiais de alta dureza e grande resistência mecânica, onde o material possui comportamento frágil é que a MFEL pode ser aplicada diretamente. Em outros casos deve-se recorrer a outros parâmetros que levam em consideração o efeito de uma deformação plástica maior na ponta da trinca.

A integral de contorno J é um parâmetro da mecânica da fratura caracterizado para avaliar a resistência a fratura de materiais com comportamento não linear. A integral J pode ser definida através das considerações de energia em um contorno fechado na ponta da trinca, ou seja,

$$J = - \frac{d\Pi}{dA} \quad (2)$$

Onde Π é a energia potencial e A é a área da trinca. A energia potencial é dada por

$$\Pi = U - F \quad (3)$$

Onde U é a energia de deformação armazenada no corpo e F é o trabalho realizado pelas forças externas. O valor da integral J pode ser determinado para diferentes configurações de trinca e carregamentos (Anderson, T. L., 1995).

2.3 Propagação da trinca

Uma trinca, para se propagar, exige que a tensão na sua ponta ultrapasse a tensão coesiva do material, que é a tensão que mantém os átomos unidos. Esta tensão pode ser determinada teoricamente como sendo da ordem de $E/10$, onde E é o módulo de elasticidade longitudinal do material (Anderson T. L., 1995). Este critério não é muito útil em aplicações práticas porque é impossível medir a tensão que realmente atua na ponta de uma trinca. Um critério mais adequado para materiais frágeis, denominado de critério de Griffith, baseado em um balanço de energia, prevê a força que deve ser aplicada em um corpo para propagar a trinca.

3. MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

A rigidez de dentes restaurados após tratamento de canal é modificada por causa da perda da estrutura dental, quando da abertura da cavidade, retirada de material da polpa e posterior preenchimento com material de restauração que pode ser do tipo de resinas compostas, ionômeros ou amálgama. A figura 1 mostra o comportamento de um dente pré-molar sujeito a uma carga de compressão.

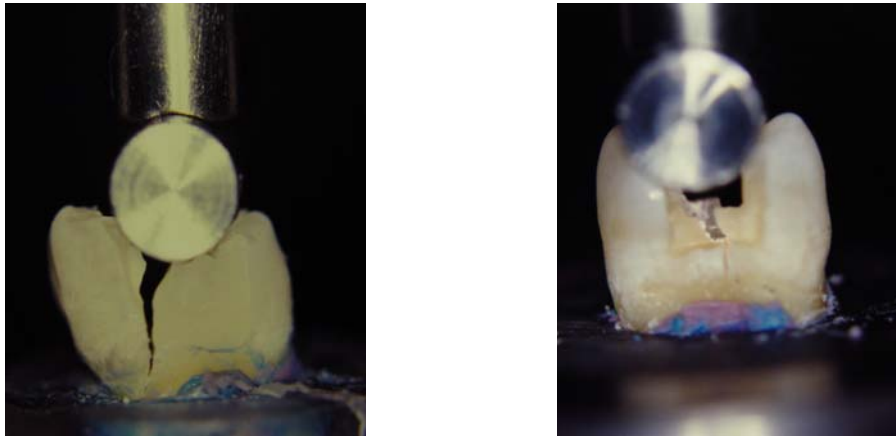


Figura 1 – Aspecto da falha em pré-molares sujeitos à diferentes configurações de restauração.

Para gerar o modelo bidimensional de elementos finitos foi obtida uma imagem de tomografia de um pré-molar superior. Esta imagem foi importada para o Programa Matlab. Neste software a imagem foi tratada e foram obtidos os contornos através das linhas e coordenadas. A figura 2 mostra a imagem de radiografia obtida e o contorno do dente obtido no Programa Matlab.

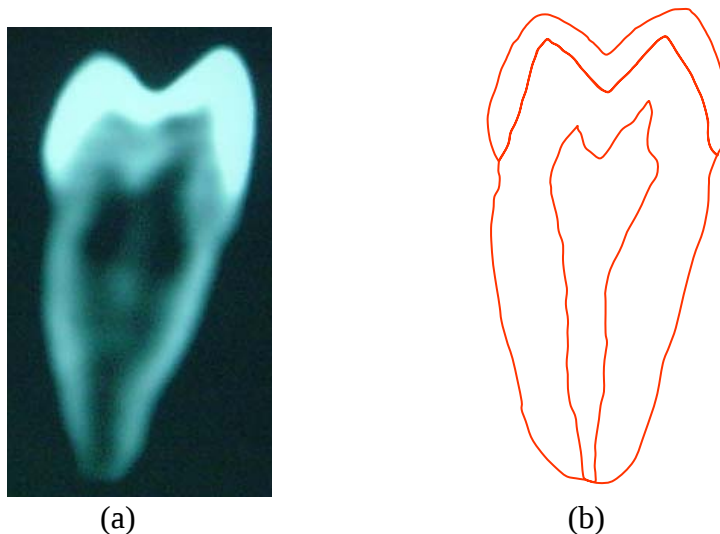


Figura 2 – Imagem de tomografia de um dente pré-molar superior e seu contorno obtido após tratamento no programa Matlab.

Este contorno foi então exportado para o Programa Ansys no formato IGES. No programa Ansys são geradas as áreas, definidas as propriedades mecânicas dos materiais, as condições de contorno, os carregamentos. A figura 3 mostra a estrutura dos materiais considerados no modelo de elementos finitos e a figura 4 mostra a malha obtida utilizando geração automática e um processo particular para correção da malha na região da ponta da trinca. Neste caso, ela foi malhada de forma diferenciada em relação às outras partes do modelo.

A análise foi feita considerando, neste trabalho, apenas estado plano de tensões. Utilizou-se um elemento padrão do Ansys denominado Plane 82, que possui 8 nós sendo 2 graus de liberdade por nó. O modelo de elementos finitos gerado consistiu de 20000 elementos quadrilaterais com um total de 30000 nós.

Após a geração das áreas, definição dos materiais, imposição das condições de contorno e do carregamento, gerou-se, então, o modelo de elementos finitos, utilizando um processo automático para a definição da malha, e obteve-se valores de tensão para, a partir da teoria, determinar o Fator de Intensificação de Tensão (KI).

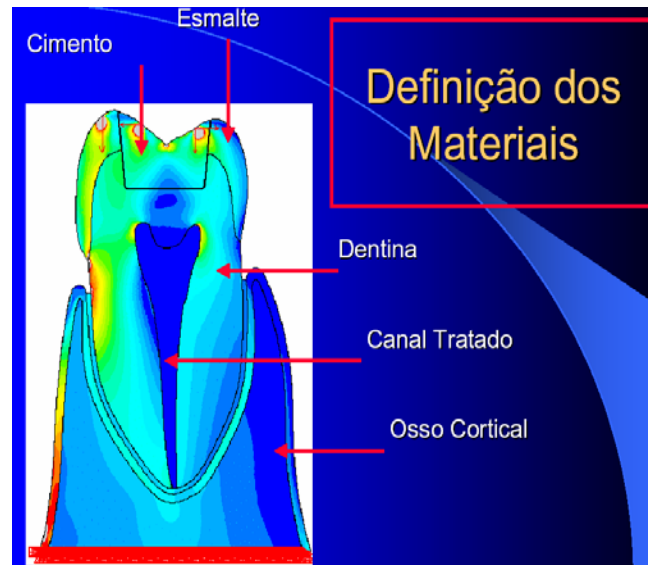


Figura 3 – Elementos presentes no modelo do dente feito em elementos finitos.

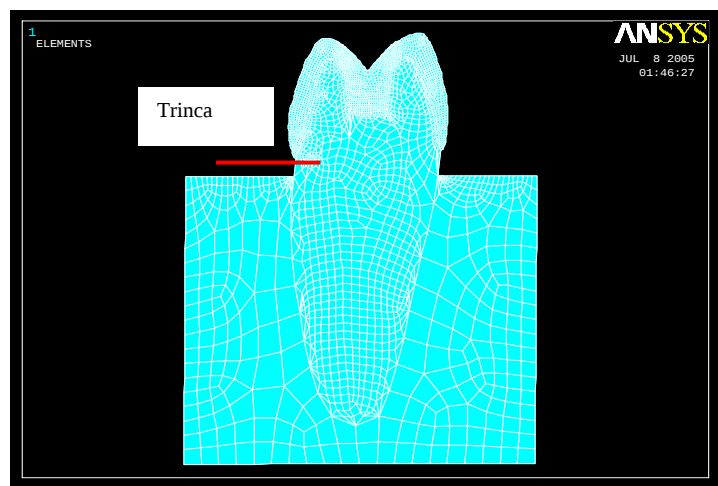


Figura 4 – Modelo de elementos finitos.

Como condições de contorno travou-se todo o contorno do osso cortical nas duas direções, afim de, simular o dente posicionado na maxila. Aplicou-se um carregamento de 160 N distribuídos na linha interna do esmalte simulando uma condição de mordida desfavorável. As características mecânicas dos materiais foram obtidas da literatura especializada e são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades Mecânicas dos materiais constituintes do dente.

Material	Módulo de Elasticidade (E) Mpa	Coefficiente de Poisson (ν)
Esmalte	46890	0.30
Dentina	18600	0.32
Resina	65000	0.23
Canal	7	0.45
Osso cortical	13700	0.30

3.1 Modelo da Trinca

Para a modelagem da trinca, inicialmente gera-se uma malha em todas as áreas do modelo. Na linha da trinca escolhe-se um nó para assumir a função de extremidade da mesma, devendo-se destacar que a linha da trinca deve estar orientada para a coordenada X do sistema global de referência. Determina-se, na mesma linha, dois outros nós anteriores a este utilizando um comando específico do programa Ansys (PPATH). Após definido o caminho de interpolação (faces da trinca próximo da sua ponta) deve-se malhar a região ao redor da extremidade da trinca, utilizando o comando KSCON. Neste comando é importante fornecer o número do nó que representa a ponta da trinca e o raio da malha que determina o tamanho da trinca, além do número de elementos a serem gerados em volta da ponta da trinca.

4. RESULTADOS

O programa Ansys utiliza uma função interna (KCAL) para a determinação do fator de intensificação de tensão empregando parâmetros estimados na ponta da trinca modelada. Para o modelo analisado neste trabalho obteve-se o Fator de Intensificação de Tensão (KI) através do comando KCAL de,

$$KI = 11.573 \text{ N}/\sqrt{mm^3} \cong 0.4MN / \sqrt{m^3}$$

Neste caso, os deslocamentos da ponta da trinca foram,

$$UXC = 0.25646E-01 \quad UYC = 0.70783E-02 \quad UZC = 0.78886E-30$$

A figura 5 mostra as tensões de Von Mises no modelo para o carregamento de 160 N. Observa-se nesta figura um valor máximo de tensão de 375 MPa na extremidade inferior de apoio do dente e na direção da carga. Normalmente, este valor é menor por causa da atenuação do ligamento periodontal, porém os valores máximos ocorrem nestes pontos, existindo uma tendência de ruptura da estrutura próxima a estas regiões conforme mostra a figura 1.

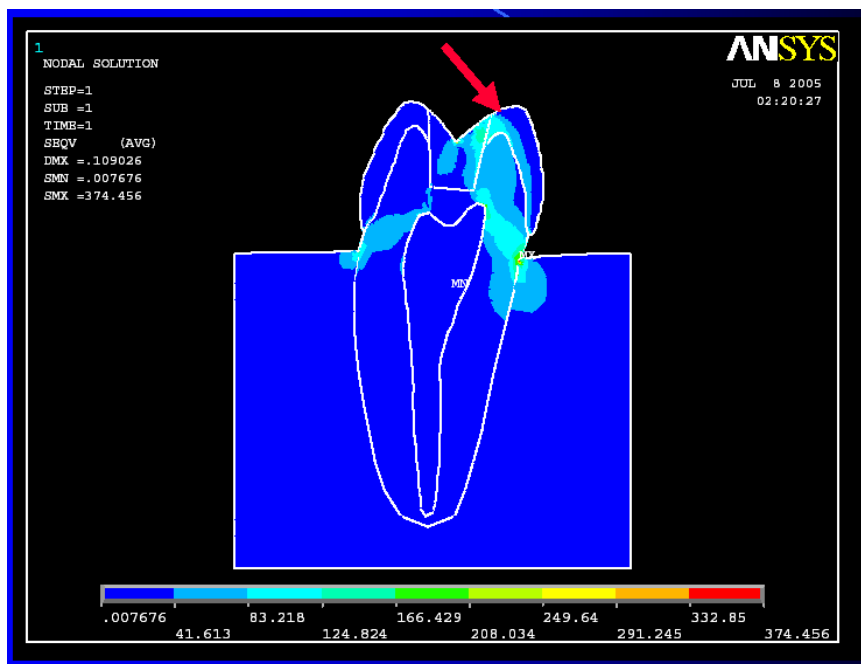


Figura 5 – Tensões de Von Mises geradas no modelo após o carregamento de 160 N.

5. CONCLUSÕES

Sempre que as tensões geradas pelas forças aplicadas aos dentes (mordida) for maior que as tensões de resistência à fratura na ponta da trinca pode-se concluir que haverá progressão da trinca. O fator de intensificação de tensão (KI) pode ser utilizado para medir a tensão de resistência na trinca.

Neste trabalho verificou-se que um modelo numérico de elementos finitos pode ser utilizado para uma avaliação prévia do comportamento de uma trinca em dentes restaurados com diferentes resinas. Neste caso, o programa ANSYS apresenta características que tornam simples o processo de modelagem e acompanhamento dos resultados, permitindo análises com várias configurações de projeto, sempre com custos reduzidos se comparados a processos experimentais. Evidentemente, que as análises experimentais devem sempre ser realizadas sempre que se desejar resultados quantitativos mais apropriados aos modelos analisados.

Este trabalho faz parte de uma Dissertação de Mestrado que se encontra em andamento. Nesta etapa, foram apresentados os resultados preliminares de um primeiro modelo plano. Pretende-se avaliar outros parâmetros da mecânica da fratura em um modelo 3D comparando com resultados experimentais. No modelo 3D de elementos finitos a ser desenvolvido também será implementado um procedimento para a avaliar a integral J. Neste modelo obteve-se um valor de KI de $0.4 \text{ MN/m}^{3/2}$ no modelo de elementos finitos para uma trinca de 0.05 mm. Comparado com o valor teórico definido pela equação 1 obtém-se um erro relativo de 17 %.

6. REFERÊNCIAS

Sorensen, J. A.; Martinof, J. T., 1984, "Intracoronar reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth." J P. Dent. Jun, 51(6):780-4.

Leonardo, M. R.; Leal, J. M., Simoes F., A. P., 1982, "Endodontia-Tratamento de canais radiculares" São Paulo, Panamericana.

Jagadish, S.; Yogesh, B. G.; 1990, "Fracture resistance of teeth with class 2 silver amalgam, posterior composite, and glass cermet restorations." Oper. Dent., Mar, 15(2):42-7.

Leinfelder, K.; 1997, "New developments in composite resins", Dent. Today, Apr, 16(4):44,46-7.

Rubin, C., 1983, "Stress Analysis of the human tooth using a three-dimensional finite element model", J. D. Res., V. 62, p. 82-86.

Anderson, T. L., 1995, "Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications", 2nd ed., CRC Press.

Soares, P. V. **Influência da técnica restauradora na distribuição de tensões, deflexão de cúspide e resistência a fratura de pré-molares superiores tratados endodonticamente.** 2005. 248 f. Dissertação de Mestrado-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

FRACTURE TOUGHNESS OF RESTORED PREMOLAR TEETH USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Izabel Aparecida de Almeida

Federal University of Uberlândia / Faculty of Mechanical Engineering, Av. João Naves de Ávila, 2120, Campus Santa Mônica, Bloco 1M Uberlândia MG, CEP: 38400-902
ialmeida@mecanica.ufu.br

Cleudmar Amaral de Araújo

Federal University of Uberlândia / Faculty of Mechanical Engineering, Av. João Naves de Ávila, 2120, Campus Santa Mônica, Bloco 1M Uberlândia MG, CEP: 38400-902
cleudmar@mecanica.ufu.br

Carlos José Soares

Federal University of Uberlândia / Faculty of Dentistry – Av. Pará, 1720 Bl. 2B 01, Uberlândia/MG.
carlosjsoares@umuarama.ufu.br

Abstract: Some clinical studies have indicated the necessity of direct and indirect restoring treatments in endodontically treated teeth because the fracture. The endodontical treatment is indicated when the pulp tissue is attacked and is intended to keep the dental structure. Different restoring techniques can be used in the structure of the tooth. Had the favorable easiness of manipulation and mechanical properties, the amalgam is the traditional kind of restoring material, however some studies show that cuspid fracture can occur due the small cracks propagation under load cycle. As alternative direct techniques exist that use composed resins, that due its capacity of adhesion to the dental structures, the fracture occurs an increase in the resistance. However, this restoring technique presents problems, mainly, relative the polymerization contraction, finishing and burnishing. Currently they exist in the market new wax base resins that possess high compression resistance and similar thermal expansion coefficient to the enamel, however possess greater trend of crack propagation and fractures. The objective of this work was to evaluate the

fracture toughness of the dentine premolar tooth subject to an applied load. The resistance was evaluated through the determination of the stress intensity factor for mode I opening crack of edge initiating in the inferior part of the tooth. The 2D finite elements model took in consideration the some constituent elements of the tooth subject to a restoration with composed resin.

Keywords. *Stress, fracture mechanical, endodontical treatments, finite elements, composed resins.*