

UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS - UniEVANGÉLICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

GUSTAVO GONÇALVES DA SILVA

**EFEITO DA QUANTIDADE DE REMANESCENTE CORONÁRIO E
PRESENÇA DE RETENTOR NO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE
MOLARES TRATADOS ENDODONTICAMENTE**

GUSTAVO GONÇALVES DA SILVA

**EFEITO DA QUANTIDADE DE REMANESCENTE CORONÁRIO E
PRESENÇA DE RETENTOR NO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE
MOLARES TRATADOS ENDODONTICAMENTE**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Odontologia da
Universidade Evangélica de Goiás –
UniEVANGÉLICA, para obtenção do
Título de Mestre em Odontologia na
Área Clínica Odontológica

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de
Carvalho

Co-orientadora: Profa. Dra. Priscilla
Cardoso Lazari-Carvalho

FOLHA DE APROVAÇÃO

EFEITO DA QUANTIDADE DE REMANESCENTE CORONÁRIO E PRESENÇA DE RETENTOR NO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE MOLARES TRATADOS ENDODONTICAMENTE

Gustavo Gonçalves da Silva

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Odontologia - PPGO da
Universidade Evangélica de Goiás
- UniEVANGÉLICA como requisito

Aprovado em 25 de fevereiro de 2022.

Banca examinadora



Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho



Prof. Dr. Hélder Fernandes de Oliveira



Prof. Dr. Dimorvan Bordin

DEDICATÓRIA

À minha mãe Vagnar, que sempre me incentivou a estudar e dar o melhor de mim, nunca mediu esforços para proporcionar aos filhos a excelência na educação.

O amor da minha vida Juliana, que sempre ao meu lado, me dando o suporte necessário para mais essa jornada.

Ao meu coração fora do peito, minha amada filha Luísa, que com seus sorrisos e brincadeiras recarregava minhas energias para conclusão desse trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Deus por iluminar o meu caminho e me conceder sabedoria, meu porto seguro em todos os momentos.

À Deus por me conceder saúde e paz para enfrentar os desafios de realizar um trabalho com tamanho desafio.

Ao professor Dr. Marco Aurélio de Carvalho, orientador deste trabalho, e que se mostrou uma pessoa de conhecimento gigante, com uma dedicação que eu até então não havia conhecido. Mesmo com a pandemia no seu auge ele não parava de incentivar e compartilhar de seus conhecimentos. Tenho absoluta certeza que sem ele eu não conseguiria finalizar o processo.

À Professora Dra. Priscilla Cardoso Lazzari-Carvalho, co-orientadora do trabalho e uma pessoa de fácil acesso e sempre disposta a ajudar, meu respeito, admiração e gratidão.

À Profa. Dra. Altair Del Bel Cury do Laboratório de Elementos Finitos da Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual de Campinas (LEF-FOP-UNICAMP) por ter tornado possível a realização deste estudo.

A todos os professores do programa de pós-graduação em odontologia da UniEVANGÉLICA, onde eu pude perceber uma grande vontade de ajudar e fazer crescer o programa, todos com uma gana impressionante, havidos em passar seu conhecimento e preocupados com nosso crescimento.

Aos colegas de mestrado Adna, Luan, Olegário, Marcos, Mozart, Raphael e Denise Amaral agradeço todos os momentos que passamos juntos, trocamos ideias, e experiências. Muito obrigado pelo companheirismo e amizade.

EPÍGRAFE

“Não sabendo que era impossível, ele foi lá e fez”.

Jean Cocteau

SUMÁRIO

RESUMO	7
Palavras-chaves:	7
ABSTRACT	8
Keyword:.....	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. Retenção intraradicular	11
2.2. Restauração do tipo <i>endocrown</i>	13
2.3. Elementos finitos em pesquisa odontológica	15
3. PROPOSIÇÃO	18
3.1. Geral.....	18
3.2. Específicas	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. Tipologia do estudo	19
4.2. Desenho do Estudo	19
4.3. Local	21
4.4. População e amostra.....	21
4.5. Elementos finitos.....	22
4.5.1 Pré-Processamento	22
4.5.1.1. Modelagem das estruturas	22
4.5.1.2. Propriedades dos materiais.....	24
4.5.1.3 Geração da malha	26
4.5.1.4 Condições de contorno e carregamento	28
4.5.2 Processamento.....	30
4.5.3 Pós-Processamento.....	30
5. RESULTADOS	31
6. DISCUSSÃO	38
7. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICE	43

RESUMO

Dentes tratados endodonticamente podem se apresentar em diversos estágios de destruição coronária. Preparos mais conservadores sem a necessidade de retenção intraradicular podem favorecer o adiamento do ciclo restaurador do dente, que tem como final a perda do mesmo. A obrigatoriedade de retenção intraradicular tem sido questionada, mas não se sabe muito ainda sobre o comportamento biomecânico de dentes tratados endodonticamente em diferentes níveis de preparo com e sem retenção intraradicular. O objetivo desse estudo foi avaliar a influência de diferentes níveis de destruição coronária de molar tratado endodonticamente com e sem uso de retentor intraradicular nas tensões e deformações pelo método de elementos finitos tridimensionais. Para isso, foram criados 10 modelos a partir da combinação de 2 fatores de estudo: 1- tipo de preparo em 6 níveis: *overlay*, *vonlay*, coroa com férula, *endocrown* com férula, coroa sem férula e *endocrown* sem férula e 2- tipo de retenção intraradicular, em dois níveis: com e sem retenção intraradicular. Em programa de desenho gráfico tridimensional (SolidWorks 2013), um molar humano inferior foi construído e restaurado com os 6 tipos de restaurações, com e sem retentor intraradicular de fibra de vidro. Os dez modelos foram então exportados para software específico de análise por elementos finitos (Ansys Workbench) e propriedades mecânicas, malhamento, condições de contorno e carregamento foram adicionadas. Uma carga oclusal oblíqua (30°) 131,9 N foi aplicada na vertente triturante do dente simulando o deslocamento para exercer a função de mastigação. A análise se deu quantitativamente e qualitativamente com as variáveis de tensão máxima principal (tração), tensão máxima de cisalhamento e deslocamento máximo para o remanescente dental. Os maiores valores de tensão de tração e cisalhamento foram encontrados nos modelos com menos remanescente coronário, enquanto os maiores deslocamentos foram encontrados nos modelos com mais remanescente coronário. Concluiu-se que a quantidade de remanescente coronário é mais importante que a presença de retentor no comportamento biomecânico de molares tratados endodonticamente.

Palavras-chaves: Técnica para Retentor Intrarradicular, Dente Tratado Endodonticamente, Coroa Dentária, Análise de Elementos Finitos.

ABSTRACT

Endodontically treated teeth (ETT) are more likely to failure due to their inherent condition and some restorative techniques have been proposed to reconstruct these compromised teeth especially when no coronal reminescent is available. The use of intracanal retainers is associated with more catastrophic root fractures that culminates in tooth loss. The real need for intraradicular retainers in roots with different amount of coronal reminescent is still unclear, although it has been mandatory so far to use intracanal retainers when no ferrule is available. The objective of this study is to evaluate the effect of the preparation design (coronal stage of destruction) and the presence of intracanal retention on stress distribution and deformation in endodontically treated molars. The study consists of an in silico analysis by the three-dimensional finite element method in which molars were restored with different preparations and intracanal retention approaches. In a three-dimensional graphic design program (SolidWorks 2013) a lower human molar root was constructed and restored with 6 types of restorations (overlay, vonlay, cronws and endocrowns in root with ferrule and root without ferrule and endocrown) and 2 types of intraradicular retention (with and without glass fiber post). The 10 models were exported to a finite element analysis software (Ansys Workbench) and mechanical properties, meshing, boundary conditions and loading were be added. 131,9-N oblique (30°) occlusal load was be applied in order to simulate mandibular displacement during chewing function. The analysis was performed quantitatively and qualitatively with the variables of maximum principal stress (tensile), maximum shear stress and maximum displacement for the dental reminescent. The highest tensile and shear stresses were found on models with less coronal reminescent, meanwhile the greatest deformation values were found on models with more coronal reminescent. The presence of a post did not influence the stress and deformation in each preparation design. It was concluded that the amount of coronal reminescent was more important to the stress distribution than the presence of a post.

Keyword: Post and Core Technique, Non-vital tooth, Tooth Crown, Finite Element Analysis.

1. INTRODUÇÃO

É fato que durante a remoção do tecido cariado e tratamento endodôntico existe uma perda da estrutura dentária e esses dentes tratados endodonticamente (DTE) acabam ficando enfraquecidos pois existe uma substancial diminuição da resistência mecânica da dentina (Dietschi et al., 2007; Dietschi et al., 2008). Dito isso, existe a real necessidade de reabilitar dentes tratados endodonticamente onde devemos nos ater a quantidade e qualidade do remanescente dentário, bem como de sua disposição no arco dentário pois os dentes anteriores e posteriores sofrem diferentes cargas oclusais. Mesmo com o advento da odontologia adesiva, existe um obstáculo para o cirurgião dentista quando se fala de reabilitação de dentes tratados endodonticamente, pois com a alteração de sua estrutura existe uma maior tendência a fraturas(VON ARX; BOSSHARDT, 2017).

Os tipos de cavidades a serem restauradas indiretamente em dentes posteriores podem ter os seguintes formatos e nomenclaturas: *inlay* (uma cavidade que não abrange nenhuma cúspide), *onlay* (cavidade com a abrangência de uma ou mais cúspides), *overlay* (cavidade que abrange todas as cúspides e portanto requer recobrimento oclusal total), *vonlay* (uma onlay com recobrimento vestibular – *veneer* associada à onlay), coroa total (preparo total do elemento dental) e *endocrown* (preparo total do elemento dental em que a retenção intraradicular é promovida por uma projeção da coroa total) (FERRARIS, 2017; VENEZIANI, 2017; SEDREZ-PORTO et al., 2016; BELLEFLAMME et al., 2017).

Se o remanescente dentário não é suficiente para reter uma peça protética o canal radicular pode ser usado como base de um retentor intraradicular. Sendo assim, em elementos com pouca estrutura, núcleos e retentores são muito utilizados (MEYENBERG, 2013). Agora, com o crescimento da odontologia adesiva, o conceito clássico da necessidade de retentor intrarradicular tem sido questionado (CARVALHO, 2017; CARVALHO et al., 2018; LAZARI et al., 2018; MAGNE et al., 2016, 2017; SEDREZ-PORTO et al., 2016).

Uma restauração biomimética é aquela que protege a estrutura dentária remanescente (DE CARVALHO et al., 2018). A forma de resistência e retenção empregada por retentores intrarradiculares tem sido questionada (CARVALHO et al., 2015; DE CARVALHO et al., 2018; LAZARI et al., 2018; MAGNE et al., 2017; POLESEL, 2014; ROCCA et al., 2016), quando do emprego de restaurações adesivas associadas à técnicas otimizadas de adesão dentária (SDI) e núcleos resinosos reforçados ou *endocrowns*. Esse questionamento se dá pela associação de fraturas catastróficas ao uso de retentores intrarradiculares (LAZARI et al., 2018; MAGNE et al., 2014, 2017; ZICARI et al., 2013), mesmo quando retentores de fibra de vidro são preferidos à retentores metálicos (FIGUEIREDO; MARTINS-FILHO; FARIA-E-SILVA, 2015). A tentativa de diminuir o risco de fraturas radiculares verticais através de abordagens restauradoras adesivas que não necessitam de retentores intrarradiculares ainda requer de mais estudos para se tornar uma opção viável clinicamente.

Um método muito aplicado na avaliação do comportamento biomecânico de técnicas e materiais em odontologia é a simulação computacional da análise por elementos finitos tridimensionais (VAN STADEN et al., 2006; SRIREKHA; BASHETTY, 2010). Através desse método *in silico* é possível observar as tensões e deformações em diferentes estruturas que compõe as restaurações de dentes, evidenciando assim as melhores técnicas e materiais que possibilitariam maior sucesso no tratamento odontológico. Atualmente pouco se sabe sobre os diferentes tipos de desenhos de restaurações de dentes tratados endodonticamente com e sem a presença de um retentor intraradicular, comparando-se com dente vital.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Retenção intraradicular

No estudo de Mazaro et al.(2006), segundo os autores a reconstrução de dentes tratados endodonticamente diariamente requer a utilização de pinos e núcleos para o restabelecimento da estética e da função. A seleção de um tipo de retenção pino/núcleo é um dilema clínico, sendo assim o ideal é discutir os vários fatores que influenciam na seleção do pino e do núcleo, como comprimento da raiz, anatomia do dente, largura da raiz, configuração do canal, quantidade de estrutura dental coronária, força de torção, stress, desenvolvimento da pressão hidrostática, design e material do pino, compatibilidade do material, capacidade de adesão e retenção do núcleo, reversibilidade, estética e material da coroa.

No estudo de Bispo et al. (2008), conclui-se que a maior complexidade encontrada quando da restauração definitiva é a dúvida quanto à execução de núcleo de preenchimento, de pino pré-fabricado, ou ainda, de núcleos fundidos de metal ou de porcelana. Entretanto, nada é viável se parâmetros ditos seguros não forem empregados e requisitos mecânicos mínimos não forem exigidos. Entretanto o objetivo deste estudo é apresentar técnicas básicas para restaurações mais confiáveis, maximizando-se a qualidade do remanescente dentário quando da confecção de restaurações extensas que empregam retentores intra-radulares em dentes tratados endodonticamente. Conclui-se que não há um procedimento padrão em todos os casos para a colocação de retentores intra-radulares devido às múltiplas variáveis clínicas presentes e a orientação quanto aos princípios biomecânicos básicos para a confecção de retentores que continuam a guiar o prognóstico clínico, mesmo com o advento e divulgação dos modernos núcleos/ pinos e materiais restauradores.

No estudo de Shibayama et al.(2010) foi feita uma revisão de literatura em que se observou que a micro infiltração coronária favorece a penetração microbiana no interior do canal radicular, levando, muitas vezes, ao fracasso da terapia endodôntica. Tal fato pode ser agravado quando há a necessidade de remoção de parte do material obturador para instalação de pino, entre as variáveis pertinentes à infiltração microbiana, a pesquisa analisa os materiais

restauradores provisórios e suas atribuições, os tipos de cimentos endodônticos e os requisitos ideais de um agente cimentante para pino e também faz referência à importância da qualidade dos retentores e principalmente do remanescente de material obturador no vedamento marginal, além de avaliar o grau de eficácia de alguns materiais selantes ou de preenchimento, o estudo cita a associação de dois materiais seladores provisórios como os mais eficazes e os cimentos que contém hidróxido de cálcio com resultados mais satisfatórios, ainda enfatiza a boa qualidade dos pinos e um remanescente obturador de cinco milímetros como imprescindíveis para a saúde periapical.

No estudo de Lili Zhou et al. (2013), sobre pinos retentores, realizaram o estudo para comparar a resistência a fratura de pinos de fibra, versus pino fundidos usados em restaurações em dentes tratados endodonticamente. Foram pesquisados artigos no MEDLINE, CHINA BIOLOGY, TRIALS REGISTER, NATIONAL KNOWLEDGE. Houve uma considerável heterogeneidade entre os casos estudados, sendo o pino fundido obteve melhor resultado do que o pino de fibra. Com base nas evidências disponíveis atualmente concluiu-se que os pinos fundidos, tem maior resistência a fratura do que os pinos de fibra.

No estudo de Barbosa et al. (2016), observou-se que cada vez mais o uso do pino de fibra no dia a dia do cirurgião dentista, a qual busca pelo sucesso no uso dos retentores intraradiculares tem sido cada vez maior, sendo um determinante do sucesso o uso de material biocompatível. Foram pesquisados artigos científicos e livros do assunto utilizando base de dados nacionais e internacionais como PubMed, Google Acadêmico e Portal de Periódicos CAPES. Cada pino retentor tem sua particularidade em cada caso, usufruíram das informações científicas para escolher a melhor técnica para obtenção do sucesso.

O estudo de Pinheiro, Oliveira, Silveira, Castro e Peralta et al. (2016), fizeram uma revisão de literatura acerca do uso de retentores intrarradiculares. A estratégia de busca utilizou as bases de dados: BIREME, MEDLINE, PUBMED E LILACS. Foram incluídos artigos no período de 1970 a 2016, revisões de literatura e revisões sistemáticas, além de tese e dissertações. Foram excluídos artigos com metodologia duvidosa e não disponíveis na íntegra. Como resultado

viram que o pino de fibra de vidro tem sido usado com frequência, devido a apresentarem boa propriedade estética, modo de elasticidade semelhante ao do dente, e a cimentação pode ser feita após o tratamento endodôntico, tem a capacidade de se aderir ao emprego de cimento e sistemas adesivos.

Sanchez et al. (2018) realizaram um estudo com o objetivo de comparar a resistência à compressão de dentes pré-molares de raiz única, tratados endodonticamente e restaurados usando a técnica e complementação de monobloco. Foram selecionados 45 pré-molares inferiores de raiz única, distribuídos aleatoriamente em 3 grupos, 2 de acordo com o desenho reconstrutivo: monobloco e complementação; o terceiro grupo, restaurado sob a técnica do núcleo fundido, foi utilizado como grupo controle. Para determinar diferenças na resistência à fratura, realizamos uma análise de variância e teste post hoc de Bonferroni. A resistência média foi maior no grupo reabilitado com a técnica convencional, seguida pela técnica de monobloco e, em terceiro lugar, a técnica de complementação com o menor valor. No entanto, as técnicas de monobloco e complementação exibiram forças semelhantes.

No estudo de Nolasco et al.(2018), foi realizada uma pesquisa onde se comparou pinos metálicos e pinos de fibra de vidro, o método utilizado foi uma pesquisa na revisão de literatura de estudos publicados entre 2010/2018, no PubMed, Scielo. O estudo demonstrou quanto ao desempenho clínico do pino metálico e dos pinos de fibra de vidro, que apesar do desgaste promovido pelo tratamento endodôntico e fundamental verificação da dentina remanescente para a escolha do retentor, a quantidade dessa estrutura restante influencia diretamente na seleção do pino, quando bem utilizados ambos demonstram bons resultados, mas o estudo mostra que cada vez mais a resistência a fratura dos pinos de fibra de vidro e cada vez maior.

2.2. Restauração do tipo *endocrown*

Cada vez mais tem aumentado a utilização de restaurações do tipo *endocrown*, que consiste em restauração indireta, que abrange totalmente a coroa dental e integra apicalmente uma retenção na câmara pulpar, sem a

colocação de um pino/núcleo (BIACCHI; MELLO; BASTING, 2013). Este tipo de restauração está indicado na restauração de dentes posteriores tratados endodonticamente com uma coroa com grande destruição e em dentes que apresentam coroas clínicas curtas e exigem um desgaste adicional da estrutura dentária. Nesta técnica utiliza-se a câmara pulpar, incorporada ao corpo da coroa cerâmica, apresentando vantagem no aumento da resistência do material restaurador, devido a maior espessura obtida. A crescente demanda por restaurações estéticas e duradouras, aliada ao desenvolvimento de materiais restauradores adesivos e a tecnologia atual, permitiu que tais restaurações sejam realizadas.

Dejak e Młotkowsk (2013), avaliaram a dissipação das tensões em dentes molares tratados endodonticamente, restaurados e reabilitados com retentores intrarradiculares e *endocrown*, por meio do método de elementos finitos (MEF), através de uma simulação de mastigação (DEJAK; MŁOTKOWSKI, 2013). Nesse estudo, os autores afirmam que o retentor exerce uma função bastante importante na reparação do elemento dental, pois ele substitui as estruturas dentárias subgingivais, dando assim ao dente um melhor suporte. Entretanto, o emprego de retentores ao ser comparado com método do *endocrown*, resultou na observação dos autores que o *endocrown* apresenta mais vantagens em relação aos retentores intrarradiculares, uma vez que possui uma maior adesão à estrutura dentária, diminuindo assim os riscos de fratura. Para tanto, os autores criaram quatro amostras de molares inferiores em que realizaram suas pesquisas. Os modelos criados foram: dentes intactos, dente restaurado por *endocrown* de cerâmica, dentes com retentores, núcleo composto e coroa de cerâmica e dentes com pilar e coroa cerâmica. Os resultados obtidos foram que os dentes restaurados com *endocrown* apresentaram menor tensão durante a simulação de mastigação, a análise do mesmo foi feita através do método de elementos finitos. Portanto, segundo os autores, pôde-se concluir que os *endocrowns* utilizados na restauração de dentes posteriores mostraram menor nível de estresse na dentina, fato que aumenta as chances de sucesso no tratamento, diminuindo assim as possibilidades de fratura da raiz do elemento dental.

Laden et al. (2017), realizaram uma pesquisa com o objetivo de avaliar os efeitos de dois modelos *endocrown* e materiais de CAD/CAM na distribuição de tensões e na probabilidade de falhas de restaurações aplicadas em dentes pré-molares superiores endodonticamente tratados e severamente destruídos (GULEC; ULUSOY, 2017). Dois tipos restaurações com extensões intrarradiculares de 3 mm, *endocrown* (E) e *endocrown* modificado (ME), foram modelados em um modelo 3D de elementos finitos (FE). Os materiais Vitablocks Mark II (VMII), Vita Enamic (VE) e Lava Ultimate (LU) foram utilizados para cada tipo de restauração. Em relação às tensões ocorridas no esmalte, para cada grupo de material, a *endocrown* modificada transmitiu menos estresse do que a *endocrown*. Durante a função oclusal normal, a probabilidade geral de falha foi mínima para EM com VMII. A *endocrown* modificada com VE foi a melhor opção restauradora para dentes pré-molares com perda extensiva da estrutura coronal sob altas cargas oclusais. Portanto, o desenho da EM poderia ser uma opção de tratamento favorável para pré-molares superiores endodonticamente tratados e severamente destruídos.

Belleflamme et al. (2017), realizou este estudo para avaliar casos de selagem imediata de dentina, realizada com cerâmica e identificar algumas falhas que podem ser evitadas durante a execução (BELLEFLAMME et al., 2017). Foi introduzida a “Técnica de porcelana monobloco” em que a retenção da restauração se baseia no uso de adesivo de cimentação e retenção macromecânica na entrada do canal. Foram documentados 99 casos e apenas 10 falhas foram detectadas.

2.3. Elementos finitos em pesquisa odontológica

Uma ferramenta de pesquisa bastante significativa nas análises biomecânicas em odontologia é o método de elementos finitos (MEF). Este é um método definitivo para modelar complexas estruturas, analisando suas propriedades mecânicas (TRIVEDI, 2014). O método de elementos finitos é um recurso de engenharia usado para calcular tensões e deformação de estruturas complexas e têm sido amplamente utilizado nas pesquisas em odontologia (KNOP et al., 2015). O desenvolvimento do MEF teve suas origens no final do

século XVIII visando a solução de problemas matemáticos. O desenvolvimento prático desta análise ocorreu somente após o avanço tecnológico com o advento da computação. Em 1960 utilizou-se pela primeira vez o nome de MEF, a partir daí houve grande desenvolvimento do método, sendo utilizado em diversas áreas como: engenharia, medicina, odontologia e outras (TRIVEDI, 2014). Na reabilitação oral, com este método é possível analisar a aplicação de forças em diferentes condições clínicas, desenhos de preparos e materiais odontológicos restauradores, avaliando os tecidos envolvidos evitando experimentos mais complexo com animais ou humanos o que necessitam de maior investimento e possui maior dificuldade de controle de viés.

Para a utilização deste método é necessária a construção de um modelo experimental do objeto que se deseja estudar. O objeto é desenhado graficamente por um programa de computador específico, como por exemplo o SolidWorks ou AutoCAD. A morfologia das estruturas modeladas pode ser baseada em Atlas de Anatomia, tomografias computadorizadas, crânios secos e/ou dentes extraídos. Este objeto é então discretizado em pequenos elementos finitos em programas específicos. Estes elementos representam coordenadas no espaço e são representados por uma figura geométrica, sendo que os tetraedros e hexaédricos são os mais comuns. Na extremidade de cada elemento encontram-se nós, que conectam os elementos em si formando uma malha em camadas bi ou tridimensionais. Para uma análise acurada das estruturas dento-maxilo-faciais o modelo tridimensional é o mais indicado, pois retrata as irregularidades da estrutura dentária, as cargas imprimidas, tensões geradas e o deslocamento de todos componentes do elemento dentário, esmalte, dentina e polpa e o resultado é observado nos três planos. Numa próxima etapa deve se determinar as propriedades físicas e mecânicas de cada estrutura constituinte do modelo. Estas características influenciarão o comportamento das respostas às aplicações de forças. Uma destas características é a capacidade do material reagir em razão de uma deformação. Estudos incluindo propriedades viscoelásticas e viscoplásticas seriam ideais (principalmente do ligamento periodontal), porém não são plenamente conhecidas, limitando sua utilização. Por isso os estudos são feitos com modelos linearmente elásticos. Nestes

estudos a deformação de estruturas é diretamente proporcional à força aplicada. Outra classificação de propriedade dos materiais é se são isotrópicos (suas características mecânicas são as mesmas em todas as direções, em um mesmo ponto da estrutura), ortotrópicos (suas características mecânicas são as mesmas em duas direções e diferente em uma direção) e anisotrópico (características diferem em todas as direções). Define-se também o Coeficiente de Poisson, que se refere ao valor absoluto entre as deformações transversais e longitudinais de tração axial. O Módulo de Young representa a inclinação da porção linear do diagrama de tensão e deformação do material. Cada estrutura possui um valor calculado do Coeficiente de Poisson e do Módulo de Young (esmalte, dentina, polpa, osso cortical, osso esponjoso, ligamento periodontal, material odontológico). Depois de estabelecer as propriedades, é realizada a aplicação de carga necessária e análise dos resultados. O comportamento dos elementos é definido por equações algébricas, em que estes achados representam a distribuição de tensão e deformação do modelo. Para esta etapa são utilizados principalmente os seguintes softwares: Patran, Nastran, Cosmos e o Ansys. Os resultados são visualizados por escala de cores, onde cada tom, corresponde a uma quantidade de deslocamento ou tensão que foi gerada nas estruturas. Deste modo pode ser detectado como ocorreu o deslocamento, o tipo do movimento realizado, qual região foi mais deslocada, como as tensões foram dissipadas sobre as estruturas do dente, ou qualquer outro objeto de estudo. A escala de cores será previamente definida e os valores corresponderão à quantidade de tensão e deslocamento presente no eixo avaliado. O MEF possui inúmeras vantagens se comparado a outros métodos de pesquisa, podendo ser utilizado em diversas aplicações(JANG et al., 2014). Porém para que ocorra a execução do método de forma correta é imprescindível o conhecimento da técnica (LOTTI et al., 2006).

Ainda segundo Trivedi (2014) a análise de elementos finitos (MEF) tem várias vantagens em comparação com estudos em modelos reais. Os experimentos são repetíveis, não há considerações éticas e os desenhos do estudo podem ser modificados e alterados conforme o requisito. Existem certas limitações da MEF também. É um estudo *in silico* computadorizado em que a

condição clínica pode não ser completamente replicada. A análise de tensão é geralmente conduzida sob carga estática e as propriedades mecânicas dos materiais são definidas como isotrópicas e linearmente elásticas, embora não seja assim na realidade. Portanto, os resultados só podem ser reconhecidos de forma comparativa. Szwedowski e cols. compararam a MEF com modelos reais e descobriram que o modelo estava de acordo com as medidas do *strain gauge*. Tendo em mente essas limitações, pesquisas adicionais da MEF devem ser complementadas com avaliação clínica.

3. PROPOSIÇÃO

3.1. Geral

Analisar o efeito da quantidade de remanescente coronário e consequente preparo dental, da retenção intraradicular no comportamento biomecânico de molares tratados endodonticamente pela análise por elementos finitos tridimensionais.

3.2. Específicas

- Avaliar o efeito da quantidade de remanescente coronário e consequente tipo de preparo dental na magnitude e dissipação de tensões e deslocamento em molar tratado endodonticamente;
- Avaliar o efeito da presença de retentor na dissipação de tensões e deslocamento em molar tratado endodonticamente, que poderia gerar falhas catastróficas;

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Tipologia do estudo

A modalidade desta pesquisa é experimental por simulação computacional (*in silico*) com objetivo analítico, com ênfase tanto quantitativo (resultados da magnitude das tensões e deslocamentos) quanto qualitativo (resultados da análise descritiva da dissipação das tensões nas estruturas). Esse método é conhecido como Método dos Elementos Finitos (MEF) em três dimensões.

4.2. Desenho do Estudo

Com a finalidade de observar o efeito do grau de destruição e consequente preparo dentário para restaurações indiretas, assim como o efeito da presença de um retentor intraradicular, foram obtidos 10 modelos tridimensionais pela combinação de 2 fatores de estudo. O primeiro fator de estudo é o tipo de preparo dentário, com 6 níveis: *overlay* (Ov), *vonlay* (Vo), coroa total com férula (Cf), *endocrown* com férula (Ef), coroa total sem férula (CSf) e *endocrown* sem férula (ESf). O segundo fator de estudo é a presença do retentor intraradicular, com dois níveis: com retentor (Cr) e sem retentor (Sr). O preparo para *endocrown* inviabiliza o uso do retentor na mesma, por isso totaliza-se dez modelos em vez de doze: OvCr, OvSr, VoCr, VoSr, CfCr, CfSr, Ef, CSfCr, CSfSr, ESf.

Como variável resposta foram avaliadas o deslocamento, o cisalhamento máximo e a tração máxima no dente. O fluxo do estudo pode ser observado na Figura 1 e Tabela 1.

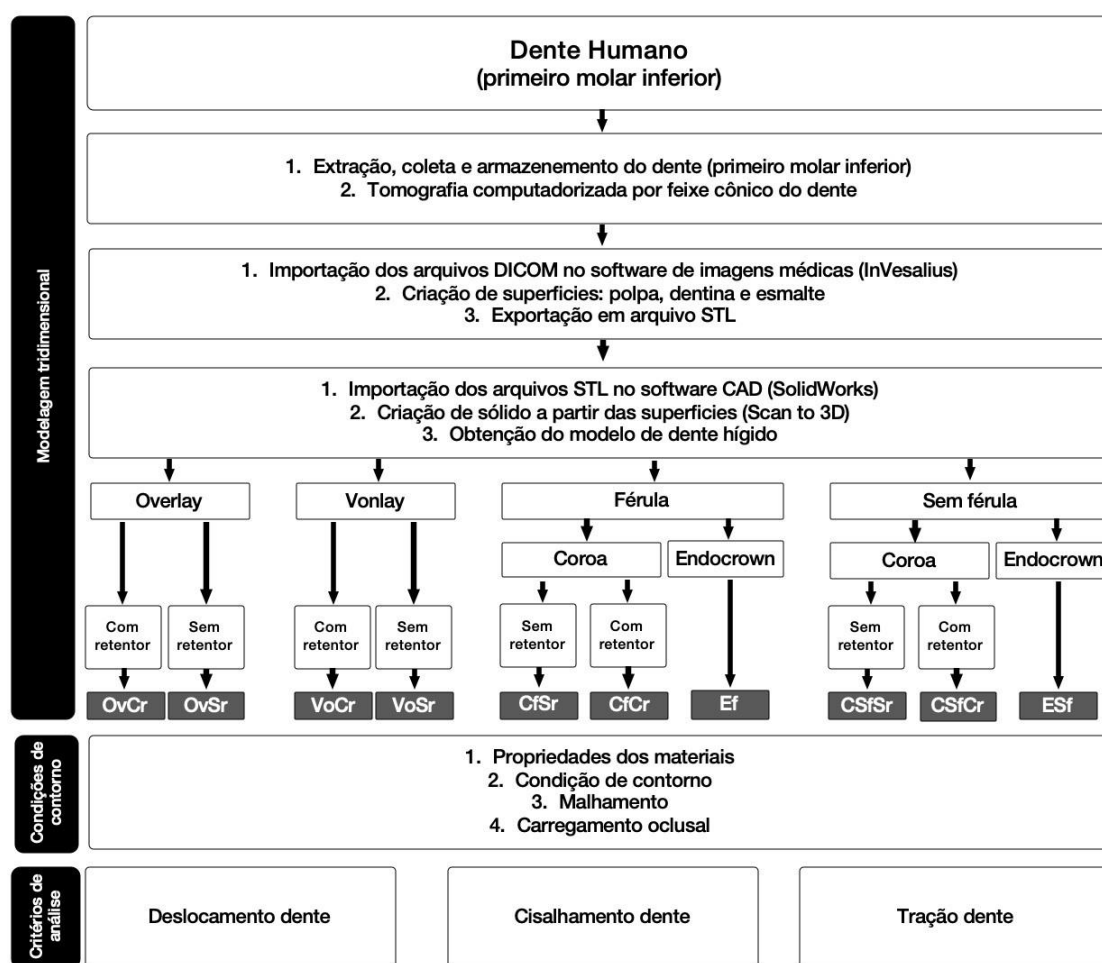


Figura 1: Fluxo do estudo, desde a obtenção das amostras aos resultados.

Fonte: Próprio autor.

Tabela 1. Delineamento experimental dos 10 modelos do estudo.

Tipo de preparo	Presença do retentor	
	Com	Sem
Overlay	OvCr	OvSr
Vonlay	VoCr	VoSr
Coroa com férula	CfCr	CfSr
Endocrown com férula		Ef
Coroa sem férula	CSfCr	CSfSr
Endocrown sem férula		ESf

4.3. Local

As etapas de delineamento experimental, redação de projeto, tratamento estatístico dos resultados, redação de dissertação e redação de artigo científico foram realizados nas dependências do Centro de Excelência em Pesquisa e Inovação (CEPinova) da Universidade Evangélica de Goiás, localizado em Anápolis – Goiás.

Para a execução do trabalho, foram utilizados o software de modelagem tridimensional SolidWorks 2018 (SolidWorksCorp., Concord, Massachusetts, U.S.A.) e software de análise pelo método dos elementos finitos Ansys (ANSYS Workbench 14, Ansys Inc., Canonsburg, Pensylvania, USA), em computador Avell G1513 Fox-7, com processador Intel® Core™ i7-8750H Coffee Lake, 9 MB Cache (2.2 GHz até 4.1 GHz com Intel® Turbo Boost); memória RAM 16GB (2x 8GB - Dual Channel) Memória DDR4 (2666 MHZ); placa de vídeo dedicada NVIDIA® GeForce® GTX 1050 Ti GPU (4 GB GDDR5 dedicada); armazenamento HD 1TB - 5400 RPM SATA III; monitor 15.6" WVA FULLHD 16:9 (1920x1080p) LED; sistema operacional Windows Home 10 (Portátil Equipamentos de Informática LTDA, Joinville, Santa Catarina, Brasil). O trabalho foi realizado nas dependências da UniEvangélica através do acesso remoto pelo aplicativo TeamViewer ao computador da instituição parceira, através da colaboração com a Profa Dra Altair Del Bel Cury do Laboratório de Elementos Finitos da Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual de Campinas (LEF-FOP-UNICAMP).

4.4. População e amostra

Este trabalho teve início após submissão e aprovação pela Comissão de Pesquisa em Odontologia do curso de Odontologia da UniEVANGÉLICA e pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UniEVANGÉLICA (Parecer 4.785.325 da CAAE: 46378320.8.0000.5076). Após aprovação, foram obtidos exames de tomografia computadorizada por feixe cônico (TCFC) de um molar inferior humano recém extraído na Clínica Odontológica de Ensino (COE) do Curso de Odontologia da UniEVANGÉLICA com a finalidade de se obter modelos tridimensionais de molar humano.

4.5. Elementos finitos

4.5.1 Pré-Processamento

4.5.1.1. Modelagem das estruturas

Os modelos tridimensionais de um molar inferior direito foram reproduzidos baseado em arquivos DICOM de aquisição tomográfica computadorizada (TCFC) (Ortopantomograph™ OP300, Instrumentarium Dental™, Charlotte, NC, EUA) foi realizada no Centro de Diagnóstico por Imagem da Faculdade de Odontologia do Centro Universitário de Anápolis. A reconstrução tridimensional (3D) dessas imagens tomográficas em dispositivos sólidos para formatos de arquivos de estéreo litografia (STL) foi realizada com o auxílio do software InVesalius (versão 3.0, 64-bites; Centro de Tecnologia e Informação Renato Archer, Campinas, Brasil). No software InVesalius as imagens tomográficas passaram por um processo de segmentação para a separação dos componentes do elemento dental. Os arquivos das imagens em SLT foram importados para o software de desenhos assistidos por computador (CAD) SolidWorks 2018 (SolidWorks Corporation, MA, EUA) (Figura 2).



Figura 2. Vista vestibular (A), mesial (B), e vestibulocclusomesial da reconstrução tridimensional do primeiro molar inferior direito.

Fonte: próprio autor.

Através do programa de desenho gráfico SolidWorks foram confeccionados modelos geométricos de um molar com tratamento endodôntico com diferentes preparos: *overlay*, *vonlay*, coroa total e *endocrown* com férula e coroa total e *endocrown* sem férula; com e sem a presença de retentor intraradicular (Figuras 3 e 4). Os modelos foram então exportados para o programa de elementos finitos Ansys Workbench 14.0 (SwansonAnalysis Inc., Houston, PA, EUA) no formato .igs (InitialGraphics Exchange Specification - Especificação inicial de intercâmbio Gráfico) para a análise numérica.



Figura 3. Condições de extensão de preparo simulada no estudo. O dente hígido é apresentado na imagem apenas para efeito de comparação da perda de estrutura coronária entre os 4 diferentes preparos.

Fonte: próprio autor.

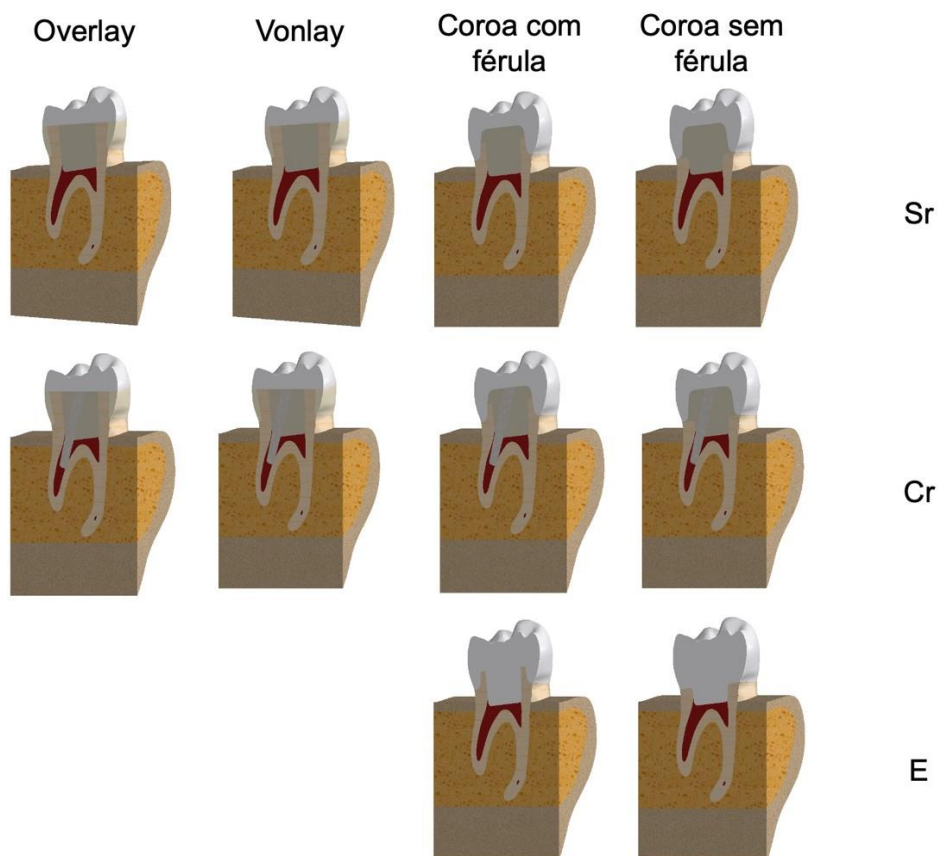


Figura 4. Dez modelos obtidos a partir da combinação dos dois fatores de estudo. Sr, sem retentor; Cr, com retentor; E, *endocrown*.

Fonte: próprio autor.

4.5.1.2. Propriedades dos materiais

Os componentes utilizados nesse estudo foram: osso cortical, osso medular, esmalte, dentina, guta-percha, pino de fibra de vidro, resina composta e cerâmica de dissilicato de lítio (Figuras 5 e 6). Os dados foram retirados da literatura a fim de obter uma padronização dos mesmos e facilitar a comparação de resultados com outros estudos. As propriedades mecânicas de todas as estruturas estão disponíveis na literatura específica (Tabela 2). Todos os materiais foram considerados homogêneos, isotrópicos, linearmente elásticos e contínuos, excetuando o pino de fibra de vidro, que foi considerado ortotrópico.

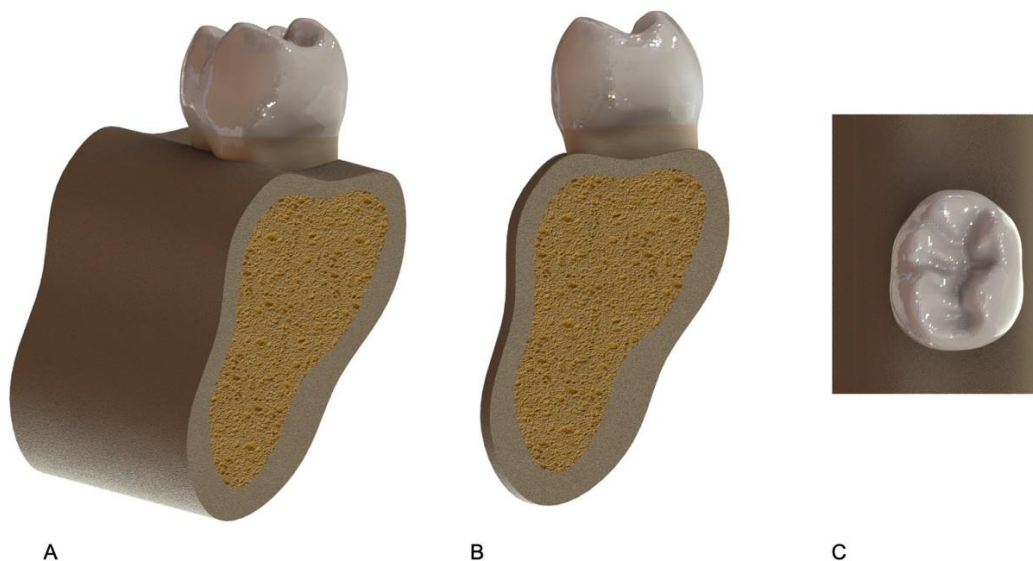


Figura 5. Vista vestíbulolesial (A), mesial (B) e oclusal (C), de um modelo completo com todas as partes constituintes no software de modelagem tridimensional SolidWorks.

Fonte: próprio autor.

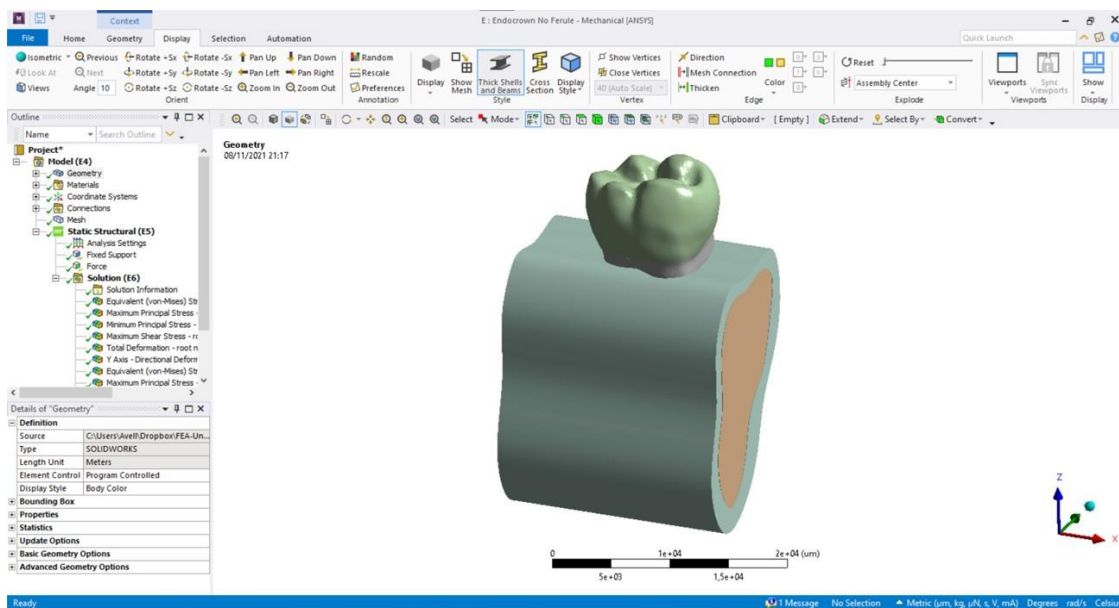


Figura 6. Exemplo de um modelo já importado e com propriedades mecânicas acrescentadas no software de elementos finitos Ansys Workbench.

Fonte: próprio autor.

Tabela 2: Propriedades mecânicas dos materiais que serão utilizados na análise por elementos finitos.

Material	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson	Referência
Dentina	18,6	0,31	(VIANNA et al., 2018)
Esmalte	84,1	0,3	(VIANNA et al., 2018)
Gutta – percha	0,14	0,45	(FRIEDMAN et al., 1975)
Dissilicato de lítio	103	0,25	(BELLI et al., 2017)
Pino de fibra de vidro	X=37	Xy=0,27	(LANZA et al., 2005)
	Y=9,5	Xz=0,34	
	Z=9,5	Yz=0,27	
Resina composta bulkfill	12,8	0,24	(OLIVEIRA SCHLIEBE et al., 2016)
Osso cortical	13,7	0,33	(CARTER; HAYES, 1977)
Osso medular	1,4	0,31	(CARTER; HAYES, 1977)

4.5.1.3 Geração da malha

A geração da malha compreende o processo de dividir a estrutura do modelo em um número finito de elementos (discretização) que são interconectados por pontos nodais os quais se encontram no sistema de coordenadas X, Y e Z, em que o conjunto resultante é denominado “malha”. A malha foi construída através da convergência de análise (5%), a qual se determinou um elemento tetraédrico de tamanho de 0,5 mm (Figuras 7 e 8). Todas as estruturas foram consideradas como unidas (elementos do tipo *contact*).

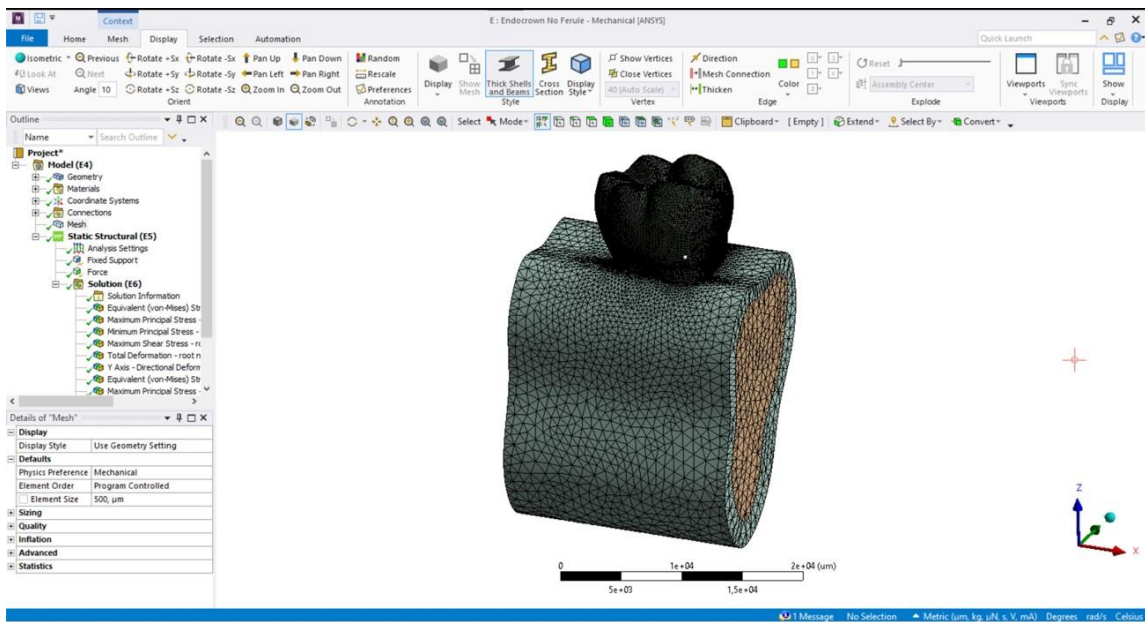


Figura 7. Discretização do modelo através da divisão em elementos de 0,5 mm.

Fonte: próprio autor.

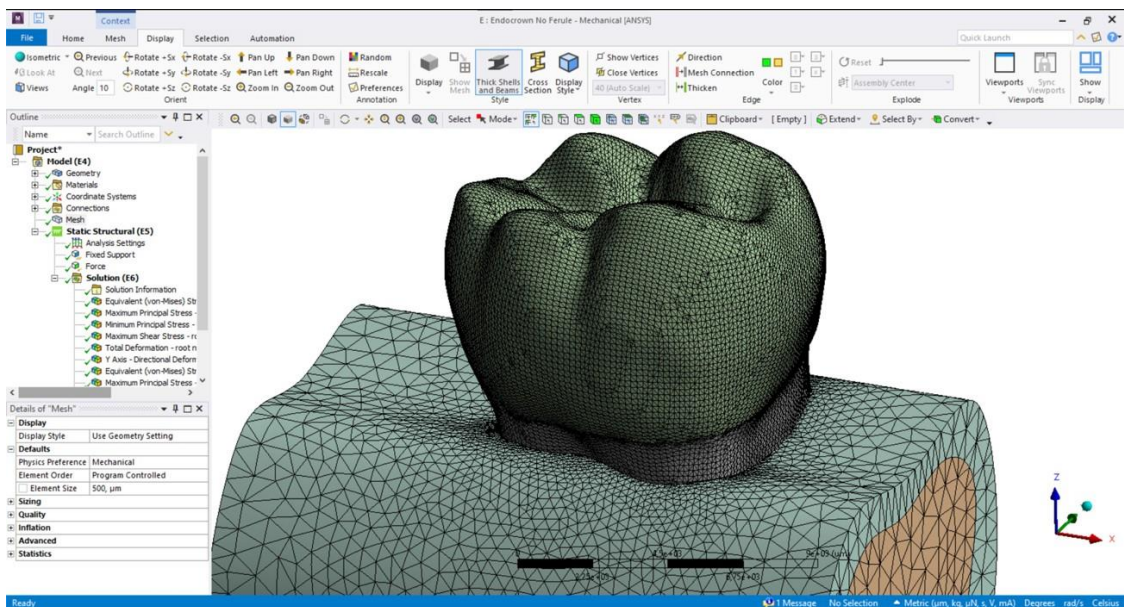


Figura 8. Visão aproximada da malha gerada.

Fonte: próprio autor.

4.5.1.4 Condições de contorno e carregamento

Para definir as condições de contorno e carregamento considerou-se uma simulação de situação clínica. As interações entre as estruturas deste estudo serão atribuídas como contatos colados ou justapostos, pois impede a penetração, deslizamento ou afastamento entre as superfícies. As faces laterais do segmento ósseo foram consideradas para o suporte fixo (Figura 9)

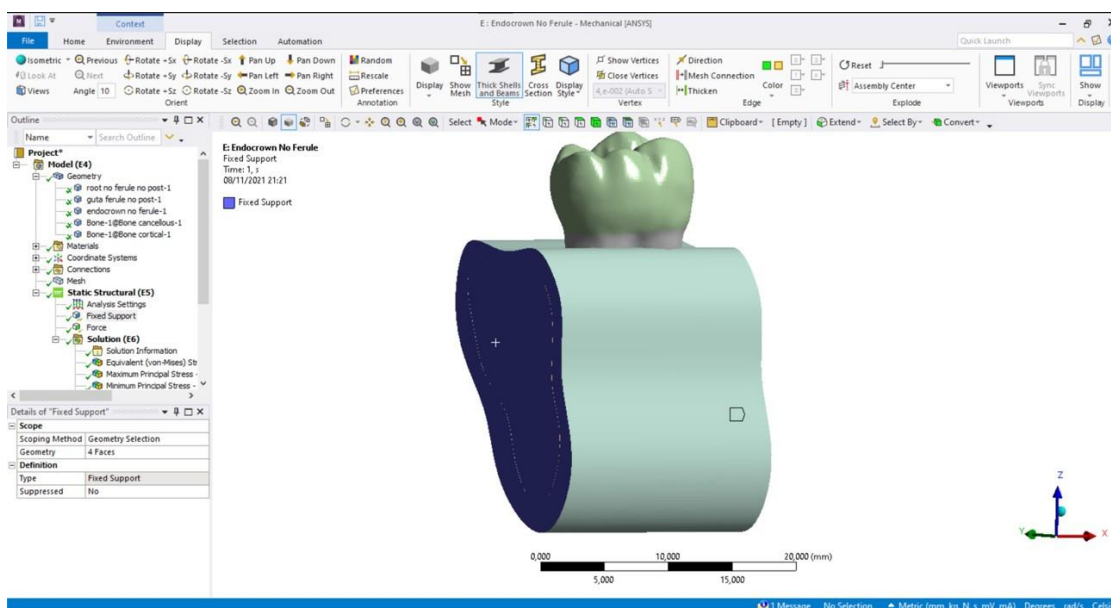


Figura 9. Fixação das faces mesial e distal do segmento ósseo.

Fonte: próprio autor

Frente às condições de carregamento, foram aplicadas carga oclusal oblíqua (30°) estática de 131,9 N, na vertente triturantes da cúspide mesiovestibular do dente simulando o deslocamento para exercer a função de mastigação como mostrado nas Figuras 10 e 11. O valor da carga utilizado refere-se à média de força de mordida de pacientes em um estudo obtido na literatura (RODRIGUES et al., 2020).

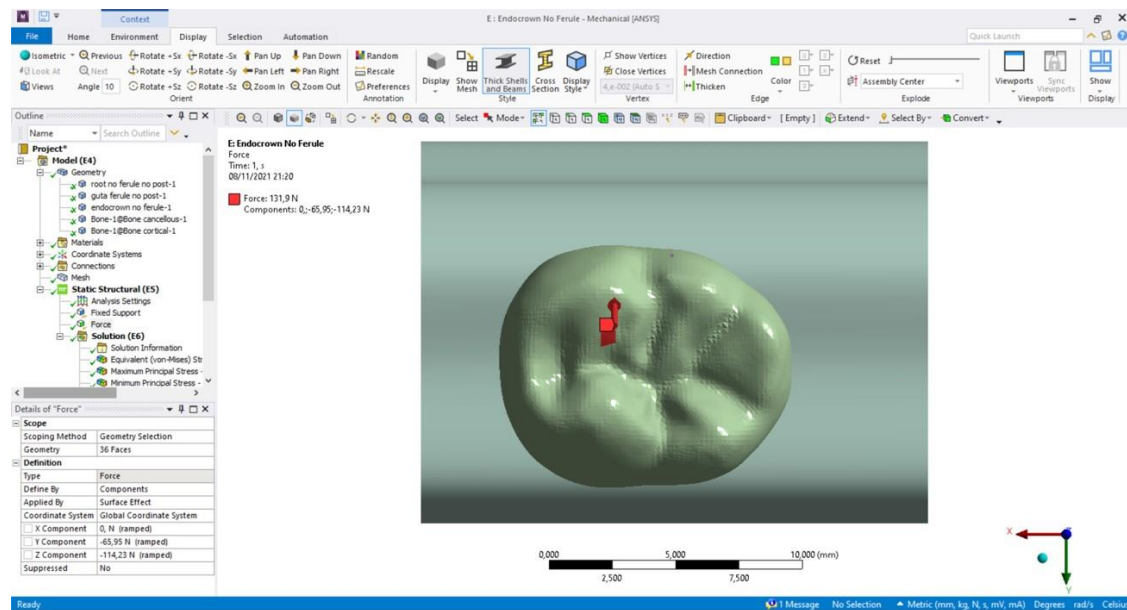


Figura 10. Vista oclusal da força de 131,9 N aplicada a 30 graus em vertente triturante da cúspide mesio vestibular..

Fonte: próprio autor.

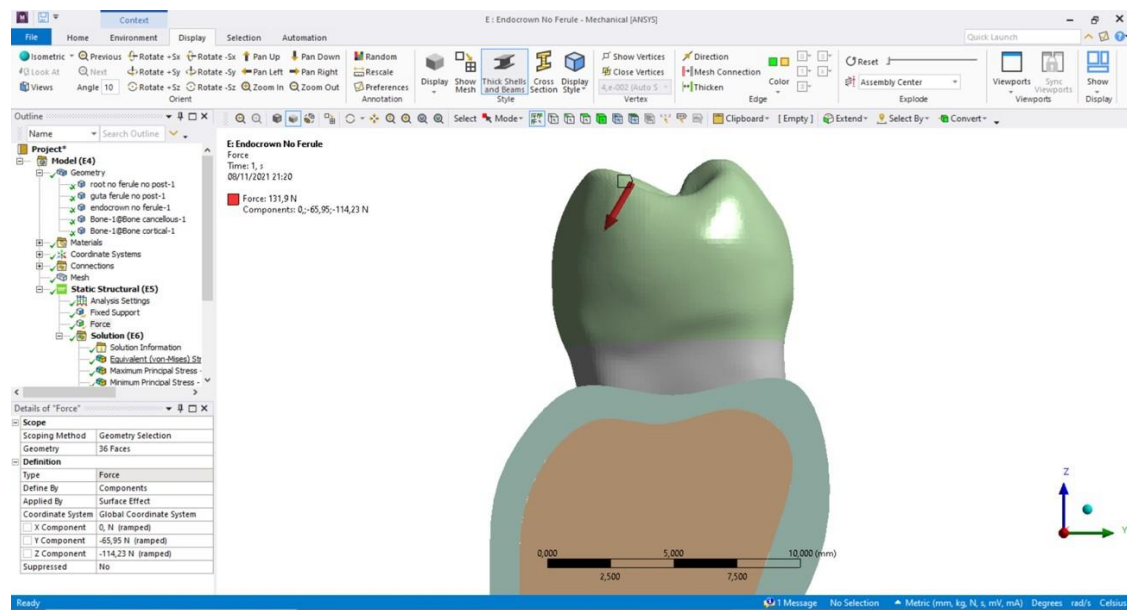


Figura 11. Vista mesial da força aplicada, em que se observa a inclinação de 30 graus.

Fonte: próprio autor.

4.5.2 Processamento

Com as condições experimentais já estabelecidas no pré-processamento, os modelos foram submetidos ao processamento das equações numéricas do programa ANSYS Workbench 14 (Ansys Inc., Canonsburg, Pennsylvania, EUA), a análise propriamente dita. Os resultados das 10 condições experimentais propostas do campo de tensões e deformações foram obtidos e então avaliados os seguintes critérios: tensão de cisalhamento máximo, tensão de tração máxima e deslocamento máximo no remanescente dentário.

4.5.3 Pós-Processamento

O resultado do processamento foi avaliado de duas maneiras: análise qualitativa, obtida pela comparação visual das imagens e seus gradientes de cores geradas pelo software de simulação e análise quantitativa ou numérica, onde foi avaliada a distribuição e valor das tensões máximas geradas como resposta biomecânica do sistema.

5. RESULTADOS

Quanto à análise quantitativa, os valores de tensões e deformação no dente podem ser observados na tabela 3 e também são apresentados como gráficos na Figura 12. No intuito de facilitar a visualização dos dados e compreensão dos mesmos, os números foram considerados inteiros, sem casas decimais, excetuando o critério de deformação. As comparações percentuais das magnitudes de tensões e deformação entre os modelos são apresentadas na tabela 4 para cada critério. Para as comparações entre modelos (em porcentagem), os números foram considerados até a segunda casa decimal. Quanto à análise qualitativa, as imagens contendo a distribuição das tensões de tração e cisalhamento e deslocamento do dente de acordo com escala de cor são apresentadas nas figuras 13 a 15.

Tabela 3. Resultado da análise quantitativa dos dez modelos e três critérios de análise no dente.

Preparo	Retentor	Modelo	Tração	Cisalhamento	Deformação
Overlay	Sem	OvSr	22	24	12,5
	Com	OvCr	23	24	12,6
Vonlay	Sem	VoSr	24	26	12,0
	Com	VoCr	24	26	12,0
Férula	Endocrown	Ef	26	25	10,0
	Sem	CfSr	27	28	10,5
	Com	CfCr	28	28	10,5
Sem	Endocrown	ESf	27	29	9,3
férula	Sem	CSfSr	28	29	9,9
	Com	CSfCr	28	32	9,9

Os valores das tensões tração máxima e cisalhamento máximo são expressos em megapascal (MPa). Os valores de deformação são expressos em micrômetros (μm).

Tabela 4. Comparação dois a dois, em porcentagem (%) entre as diversas combinações dos 10 modelos do estudo, para cada um dos 3 critérios avaliados no dente

Modelo	Comparado a	Tração	Cisalhamento	Deformação
OvCr	OvSr	-4%	0%	-1%
	OvCr	0%	0%	0%
	VoCr	4%	8%	-5%
	CfCr	22%	17%	-16%
	Ef	13%	6%	-20%
	CSfCr	21%	33%	-21%
	ESf	17%	22%	-27%
OvSr	OvCr	5%	0%	1%
	OvSr	0%	0%	0%
	VoSr	9%	8%	-4%
	CfSr	23%	18%	-15%
	Ef	18%	6%	-20%
	CSfSr	27%	21%	-21%
	ESf	23%	22%	-26%
VoCr	VoSr	0%	0%	0%
	OvCr	-4%	-8%	5%
	CfCr	17%	8%	-12%
	Ef	8%	-2%	-16%
	CSfCr	16%	23%	-17%
	ESf	13%	13%	-23%
VoSr	VoCr	0%	0%	0%
	OvSr	-8%	-8%	4%
	CfSr	13%	9%	-12%
	Ef	8%	-2%	-16%
	CSfSr	17%	12%	-17%
	ESf	13%	13%	-23%
Ef	OvSr	-15%	-6%	24%
	OvCr	-12%	-6%	26%
	VoSr	-8%	2%	20%
	VoCr	-8%	2%	20%
	CfSr	4%	12%	5%
	CfCr	8%	10%	5%
	ESf	4%	15%	-8%
CfSr	OvSr	-19%	-15%	18%
	VoSr	-11%	-8%	14%
	CfCr	4%	-1%	0%

	Ef	-4%	-10%	-5%
	CSfSr	4%	2%	-6%
CfCr	OvCr	-18%	-14%	20%
	VoCr	-14%	-7%	14%
	CfSr	-4%	1%	0%
	Ef	-7%	-9%	-5%
	CSfCr	0%	14%	-6%
ESf	OvSr	-19%	-18%	35%
	OvCr	-15%	-18%	36%
	VoSr	-11%	-11%	30%
	VoCr	-11%	-11%	30%
	Ef	-4%	-13%	8%
	CSfSr	4%	-1%	7%
	CSfCr	3%	9%	7%
CSfSr	OvSr	-21%	-17%	26%
	VoSr	-14%	-10%	21%
	CSfCr	0%	10%	0%
	ESf	-4%	1%	-7%
	CfSr	-4%	-2%	6%
CSfCr	OvCr	-17%	-25%	27%
	VoCr	-14%	-19%	21%
	CSfSr	0%	-9%	0%
	ESf	-3%	-9%	-7%
	CfCr	0%	-12%	6%

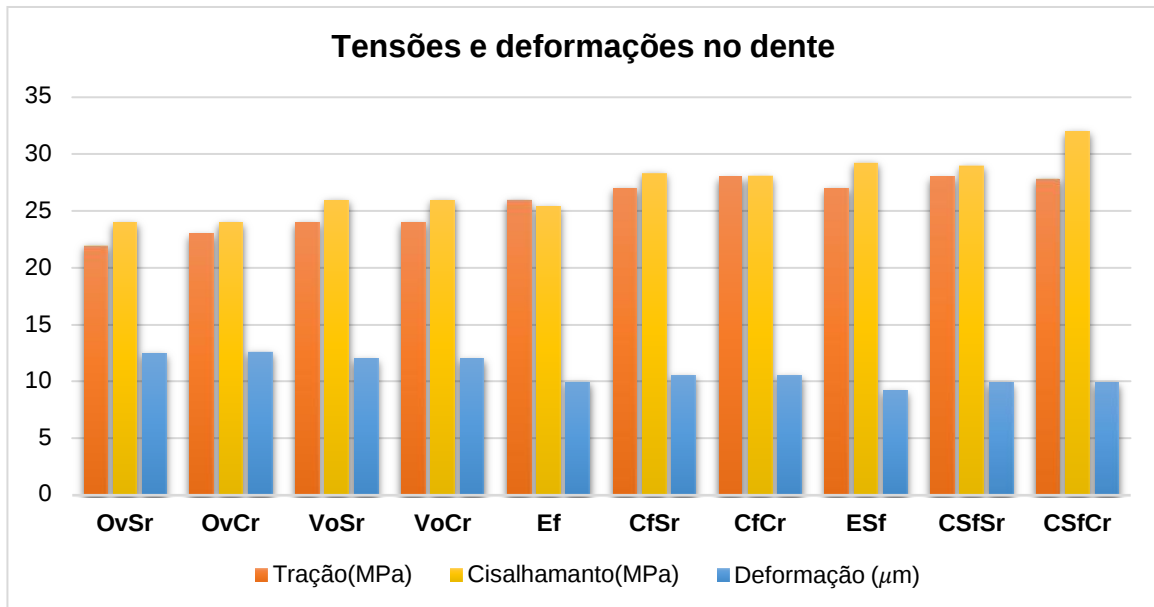


Figura 12. Apresentação gráfica dos valores de tensões e deformação dos dez modelos segundo cada um dos três critérios de análise do estudo. Os valores das tensões tração máxima e cisalhamento máximo são expressos em megapascal (MPa). Os valores de deformação são expressos em micrômetros (μm).

Os maiores valores de tração foram encontrados nos modelos CSfCr, CSfSr, CfCr com 28 MPa seguido ESf, CfSr (27 MPa) e Ef (26 MPa). As diferenças entre os modelos os três modelos sem férula não foram importantes, sendo um decréscimo de apenas 3% entre CSfCr para ESf. As tensões de tração foram maiores nos modelos de coroa total com ou sem férula quando comparadas aos modelos com mais remanescente coronário, *overlays* e *vonlays* com os sem retentor intraradicular. Não houveram diferenças importantes entre os modelos com ou sem retentor, seja entre *overlays* ou *vonlays*. O menor valor foi encontrado nos modelos OvSr, com um decréscimo de 19 a 21% quando comparado com os seis modelos sem férula. As tensões de tração se concentraram na face lingual da raiz mesial do dente, na região de inserção óssea (Figura 13).

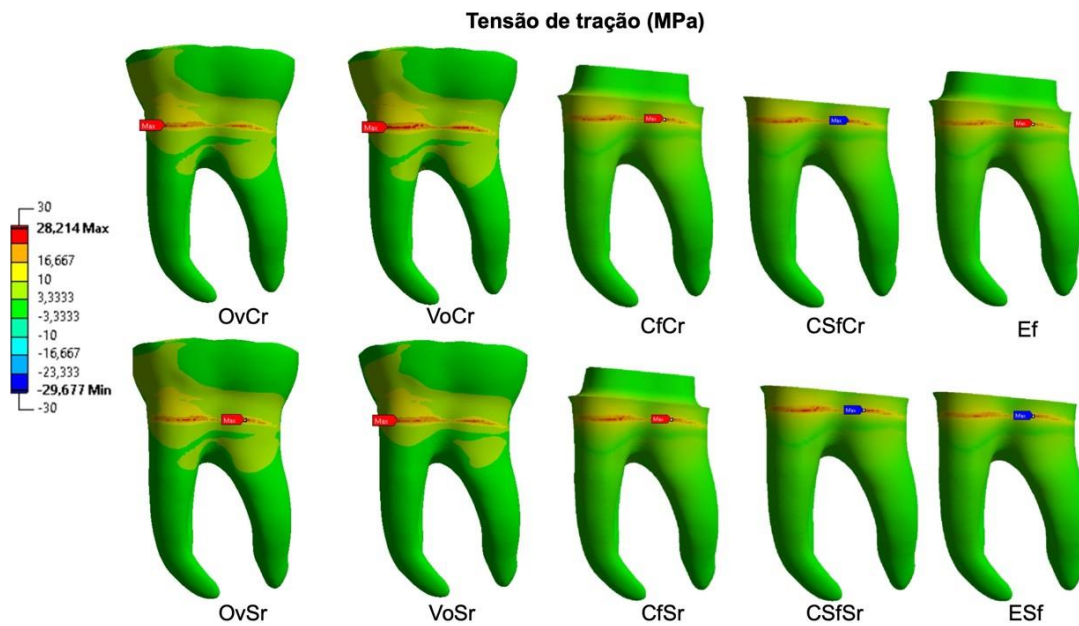


Figura 13. Distribuição das tensões de tração (em MPa) nas raízes dos 10 modelos do estudo. A etiqueta aponta o local de maior tensão em cada modelo. As cores nos modelos estão padronizadas de acordo com a escala visual. Ov, *overlay*; Vo, *vonlay*; Cf, coroa com férula; CSf, coroa sem férula; E, *endocrown*; Cr, com retentor; Sr, sem retentor.

Fonte: próprios autores.

Considerando o critério de tensão de cisalhamento, semelhantemente aos achados da tensão de tração, os maiores valores ocorreram nos modelos com menos estrutura coronária remanescente. O modelo CSfCr apresentou o maior valor, de 32 MPa, 10% maior que seu par sem retentor (CSfSr) e 14% maior que seu par com férula (CfCr). Dentre os modelos com férula, a *endocrown* (Ef) teve o menor valor de tensão (25 MPa), sendo 10% menor que CfCr e CfSr. A presença de retentor não alterou de forma importante o cisalhamento entre os modelos de *overlay* e entre os modelos de *vonlay*. Modelos de *overlay* tiveram tensões 8% menores que modelos de *vonlay*. As tensões de cisalhamento para modelos de *vonlay* se concentraram na interface do preparo com a restauração cerâmica na face vestibular, enquanto para todos os demais 8 modelos, essas tensões se concentraram na face vestibular da raiz mesial do dente, na região de inserção óssea (Figura 14).

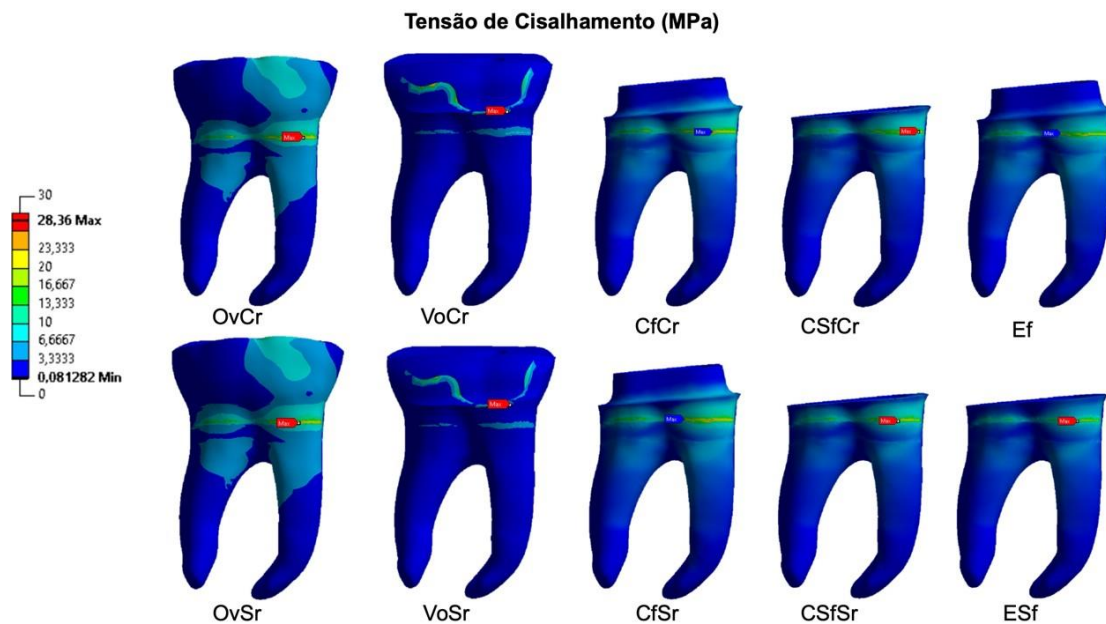


Figura 14. Distribuição das tensões de cisalhamento (em MPa) nas raízes dos 10 modelos do estudo. A etiqueta aponta o local de maior tensão em cada modelo. As cores nos modelos estão padronizadas de acordo com a escala visual. Ov, *overlay*; Vo, *vonlay*; Cf, coroa com férula; CSf, coroa sem férula; E, *endocrown*; Cr, com retentor; Sr, sem retentor.

Fonte: próprios autores.

Quanto ao critério de deformação, não houveram diferenças importantes entre os modelos com mais remanescente coronário, sem o menor valor dentre esses encontrado em VoSr e VoCr ($12 \mu\text{m}$) e os maiores em OvSr e OvCr ($12,5$ e $12,6 \mu\text{m}$ respectivamente). Os modelos com menos remanescente coronário deformaram menos que as *overlays* e *vonlays*, sendo que as maiores deformações foram de $10,5 \mu\text{m}$ em CfCr e CfSr e menores em ESf. As maiores deformações foram encontradas nas porções mais coronais de cada modelo (Figura 15).

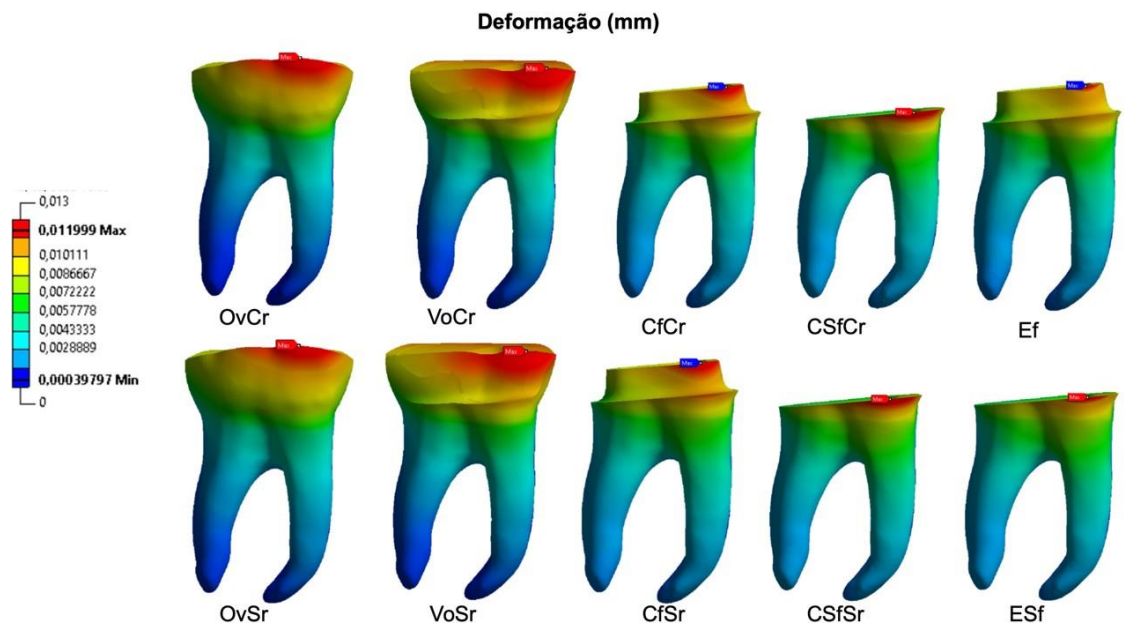


Figura 15. Apresentação das deformações (em μm) nas raízes dos 10 modelos do estudo. A etiqueta aponta o local de maior tensão em cada modelo. As cores nos modelos estão padronizadas de acordo com a escala visual. Ov, *overlay*; Vo, *vonlay*; Cf, coroa com férula; CSf, coroa sem férula; E, *endocrown*; Cr, com retentor; Sr, sem retentor.

Fonte: próprios autores.

6. DISCUSSÃO

O presente estudo avaliou a influência da presença de retentor intraradicular em diferentes preparos de restaurações indiretas nas tensões e deformação de molar tratado endodonticamente pelo método dos elementos finitos tridimensionais.

Quando há pouco ou nenhum remanescente coronário, comumente são indicados o uso de pinos intraradiculares. Desde a década de 70 (CAPUTO; STANDLEE, 1976) entende-se que a utilização de núcleos intraradiculares tem a finalidade retentiva de uma restauração e não do seu reforço. O retentor utilizado deveria ao mesmo tempo oferecer o benefício da retenção sem o prejuízo da concentração de tensão dentinária, que pode resultar em fratura radicular. No entanto, no presente estudo não se observou alterações significantes nas tensões de tração e cisalhamento ou na deformação entre modelos com e sem retentor intraradicular. Isso pode ser consequência do não alargamento da raiz distal do molar mesmo nos modelos com retentor. Há evidência clínica na literatura em acordo com os achados do presente estudo, uma vez que num estudo clínico com quase 300 dentes e média de 10 anos de acompanhamento observou-se nenhuma influencia da presença do retentor na sobrevivência de dentes tratados endodonticamente. Em contrapartida, uma recente revisão sistemática com metanálise concluiu que a presença de um retentor aumenta a resistência à fratura de dentes tratados endodonticamente submetidos a carregamento em estudos *in vitro* (JUREMA et al., 2021). Em outro estudo clínico com 101 dentistas 1375 coroas cerâmicas, os autores observaram que o não uso de retentor aumentou em 2,7x a chance de falhas(WIERICHS et al., 2021).

Um estudo utilizando análise por elemento finito 3D (ZARONE et al., 2006) comparou uma endocrown com um dente natural. O uso deste tipo de restauração tem como vantagem reduzir as interfaces dos sistemas restauradores. Os autores concluíram que a escolha do material restaurador deve ser cuidadosamente avaliada. Os materiais restauradores que possuem suas propriedades mecânicas similares aos tecidos dentais são capazes de mimetizar o comportamento mecânico de um dente natural. Resinas compostas

parecem ser o material restaurador mais confiável para se construir uma endocrown, pois geram uma baixa concentração de tensão. Apesar do melhor comportamento biomecânico de endocrowns em resina composta, o presente estudo utilizou cerâmica de dissilicato de lítio no intuito de padronizar o material entre os diferentes tipos de preparos.

Semelhante aos achados do presente estudo, uma pesquisa comparando tensões equivalentes em molares restaurados com endocrowns, bem como pinos e núcleos durante simulação mastigatória usando análise de elementos finitos, revelou que os dentes restaurados com endocrowns são potencialmente mais resistentes a falhas do que aqueles com retentores intraradiculares(LIN; LIN; ZHENG, 2020).

Os achados desse presente estudo podem sugerir que mais estudo *in vitro* e *in vivo* sejam realizados para avaliar a necessidade de retenção intraradicular quando há remanescente coronário, como em preparos para overlay e vonlays.

7. CONCLUSÃO

Considerando as limitações do presente estudo *in silico*, pode-se concluir que:

- O uso de retentor intraradicular não causou alterações importantes no campo de tensões e deformações
- Quanto menos remanescente coronário, menor deslocamento do dente e conseqüentemente maior a magnitude das tensões

REFERÊNCIAS

- BELLEFLAMME, M. M. et al. No post-no core approach to restore severely damaged posterior teeth: An up to 10-year retrospective study of documented endocrown cases. **Journal of Dentistry**, v. 63, n. April, p. 1–7, 27 abr. 2017.
- BELLI, R. et al. Chairside CAD/CAM materials. Part 1: Measurement of elastic constants and microstructural characterization. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials**, v. 33, n. 1, p. 84–98, 2017.
- BIACCHI, G. R.; MELLO, B.; BASTING, R. T. The endocrown: an alternative approach for restoring extensively damaged molars. **Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]**, v. 25, n. 6, p. 383–90, dez. 2013.
- CAPUTO, A. A.; STANDLEE, J. P. Pins and posts--why, when and how. **Dental clinics of North America**, v. 20, n. 2, p. 299–311, abr. 1976.
- CARTER, D. R.; HAYES, W. C. Compact bone fatigue damage--I. Residual strength and stiffness. **Journal of biomechanics**, v. 10, n. 5–6, p. 325–37, 1977.
- CARVALHO, A. O. et al. Influence of Adhesive Core Buildup Designs on the Resistance of Endodontically Treated Molars Restored With Lithium Disilicate CAD/CAM Crowns. **Operative dentistry**, v. 41, n. 1, p. 76–82, 2015.
- CARVALHO, M. A. DE. **Avaliação da resistência à fadiga e modo de falha de coroas cerâmicas sem pino em incisivos sem férula tratados endodonticamente**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2017.
- CARVALHO, M. A. DE et al. Current options concerning the endodontically-treated teeth restoration with the adhesive approach. **Brazilian oral research**, v. 32, n. suppl 1, p. e74, 18 out. 2018.
- DE CARVALHO, M. A. et al. Current options concerning the endodontically-treated teeth restoration with the adhesive approach. **Brazilian Oral Research**, v. 32, n. suppl 1, p. 318–332, 18 out. 2018.
- DEJAK, B.; MŁOTKOWSKI, A. 3D-Finite element analysis of molars restored with endocrowns and posts during masticatory simulation. **Dental Materials**, v. 29, n. 12, p. e309–e317, 2013.
- FIGUEIREDO, F. E. D.; MARTINS-FILHO, P. R. S.; FARIA-E-SILVA, A. L. Do metal post-retained restorations result in more root fractures than fiber post-retained restorations? A systematic review and meta-analysis. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 3, p. 309–16, mar. 2015.
- FRIEDMAN, C. M. et al. Composition and mechanical properties of gutta-percha endodontic points. **Journal of dental research**, v. 54, n. 5, p. 921–5,

1975.

GULEC, L.; ULUSOY, N. Effect of Endocrown Restorations with Different CAD/CAM Materials: 3D Finite Element and Weibull Analyses. **BioMed research international**, 2017.

JANG, Y. et al. Influence of apical root resection on the biomechanical response of a single-rooted tooth: a 3-dimensional finite element analysis. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 9, p. 1489–1493, 2014.

JUREMA, A. L. B. et al. Effect of intraradicular fiber post on the fracture resistance of endodontically treated and restored anterior teeth: A systematic review and meta-analysis. **The Journal of prosthetic dentistry**, p. 1–12, 2 fev. 2021.

KNOP, L. et al. Scientific use of the finite element method in orthodontics. **Dental Press Journal of Orthodontics**, v. 20, n. 2, p. 119–125, 2015.

LANZA, A. et al. 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials**, v. 21, n. 8, p. 709–15, ago. 2005.

LAZARI, P. C. et al. Survival of extensively damaged endodontically treated incisors restored with different types of posts-and-core foundation restoration material. **The Journal of prosthetic dentistry**, v. 119, n. 5, p. 769–776, 16 maio 2018.

LIN, J.; LIN, Z.; ZHENG, Z. Effect of different restorative crown design and materials on stress distribution in endodontically treated molars: a finite element analysis study. **BMC oral health**, v. 20, n. 1, p. 226, 18 ago. 2020.

LOTTI, R. S. et al. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. **Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial**, v. 11, n. 2, p. 35–43, 2006.

MAGNE, P. et al. Influence of No-Ferrule and No-Post Buildup Design on the Fatigue Resistance of Endodontically Treated Molars Restored With Resin Nanoceramic CAD/CAM Crowns. **Operative dentistry**, p. 0–7, 1 ago. 2014.

MAGNE, P. et al. Composite Resin Core Buildups With and Without Post for the Restoration of Endodontically Treated Molars Without Ferrule. **Operative dentistry**, v. 41, n. 1, p. 64–75, 2016.

MAGNE, P. et al. Ferrule-Effect Dominates Over Use of a Fiber Post When Restoring Endodontically Treated Incisors: An In Vitro Study. **Operative dentistry**, v. 42, n. 4, p. 396–406, 2017.

MEYENBERG, K. The ideal restoration of endodontically treated teeth - structural and esthetic considerations: a review of the literature and clinical guidelines for the restorative clinician. **The European journal of esthetic**

dentistry : official journal of the European Academy of Esthetic Dentistry, v. 8, n. 2, p. 238–68, 2013.

OLIVEIRA SCHLIEBE, L. R. S. et al. The new generation of conventional and bulk-fill composites do not reduce the shrinkage stress in endodontically-treated molars. **American journal of dentistry**, v. 29, n. 6, p. 333–338, dez. 2016.

POLESEL, A. Restoration of the endodontically treated posterior tooth. **Giornale Italiano di Endodonzia**, v. 28, n. 1, p. 2–16, 2014.

ROCCA, G. T. et al. Fatigue behavior of resin-modified monolithic CAD–CAM RNC crowns and endocrowns. **Dental Materials**, p. 1–13, 2016.

RODRIGUES, M. DE P. et al. Direct resin composite restoration of endodontically-treated permanent molars in adolescents: bite force and patient-specific finite element analysis. **Journal of applied oral science : revista FOB**, v. 28, p. e20190544, 2020.

SEDREZ-PORTO, J. A. et al. Endocrown restorations: A systematic review and meta-analysis. **Journal of dentistry**, v. 52, p. 8–14, set. 2016.

TRIVEDI, S. Finite element analysis: A boon to dentistry. **Journal of oral biology and craniofacial research**, v. 4, n. 3, p. 200–3, 2014.

VIANNA, A. L. S. DE V. et al. Effect of cavity preparation design and ceramic type on the stress distribution, strain and fracture resistance of CAD/CAM onlays in molars. **Journal of applied oral science : revista FOB**, v. 26, p. e20180004, 2018.

VON ARX, T.; BOSSHARDT, D. Vertical root fractures of endodontically treated posterior teeth. **SWISS DENTAL JOURNAL SSO SWISS DENTAL JOURNAL SSO Barbara Bosshardt SWISS DENTAL JOURNAL SSO**, v. 127, n. 127, p. 14–23, 2017.

WIERICHS, R. J. et al. A prospective, multi-center, practice-based cohort study on all-ceramic crowns. **Dental Materials**, v. 37, n. 8, p. 1273–1282, maio 2021.

ZARONE, F. et al. Evaluation of the biomechanical behavior of maxillary central incisors restored by means of endocrowns compared to a natural tooth: a 3D static linear finite elements analysis. **Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials**, v. 22, n. 11, p. 1035–44, nov. 2006.

ZICARI, F. et al. Effect of ferrule and post placement on fracture resistance of endodontically treated teeth after fatigue loading. **Journal of Dentistry**, v. 41, n. 3, p. 207–215, mar. 2013.

APÊNDICE



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DO TIPO DE PREPARO, PRESENÇA DE RETENTOR E MATERIAL RESTAURADOR NO COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DE DENTES TRATADOS ENDODONTICAMENTE

Pesquisador: Marco Aurélio de Carvalho

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 46378320.8.0000.5076

Instituição Proponente: ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.977.102

Apresentação do Projeto:

De acordo com o parecer CAAE 46378320.8.0000.5076

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo geral

Avaliar o efeito do desenho do preparo, o tipo de material restaurador e a presença de retentor intraradicular no comportamento biomecânico de pré-molares e molares tratados endodonticamente

Objetivos específicos

Avaliar, pelo método dos elementos finitos tridimensionais, o efeito do tipo de preparo inlay, onlay, overlay, vonlay, coroa e endocrown na concentração de tensões e deslocamentos em dentes posteriores tratados endodonticamente.

Avaliar o papel do retentor intraradicular na magnitude e dissipação de tensões na raiz do dente, que poderia gerar falhas catastróficas.

Avaliar o efeito do módulo de elasticidade do material restaurador na dissipação de tensões e deslocamento em dentes posteriores tratados endodonticamente.

Endereço: Av. Universitária, Km 3,5
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 75.083-515
UF: GO **Município:** ANAPOLIS
Telefone: (62)3310-6736 **Fax:** (62)3310-6636 **E-mail:** cep@unievangelica.edu.br

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

De acordo com o parecer CAAE 46378320.8.0000.5076

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Projeto de pesquisa do curso de odontologia, Área do conhecimento das Ciências da Saúde, Linha de Pesquisa Técnicas, Materiais e Substâncias de Aplicação Clínica e Laboratorial em Odontologia da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA, sob a responsabilidade do pesquisador Prof. Dr. Marco Aurélio de Carvalho.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

De acordo com as recomendações previstas pela RESOLUÇÃO CNS N.466/2012 e demais complementares o protocolo permitiu a realização da análise ética. Todos os documentos listados abaixo foram analisados.

Recomendações:

Não se aplica.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Lista de pendências

PENDÊNCIA 01: O número de participantes da pesquisa apresentados na folha de rosto encontra-se divergente daquele apresentado no Projeto Detalhado. Os pesquisadores deverão justificar e uniformizar as informações apresentadas. ANÁLISE: Os pesquisadores esclareceram que "Para se cobrir a variação anatômica comumente encontrada nesses dentes, se estabeleceu 7 molares e 7 pré-molares para melhor se obter os modelos tridimensionais que se adequem à essas variações. Sendo assim, 14 participantes são esperados para a obtenção das amostras. As edições foram feitas no Projeto detalhado, página 15, com realce em amarelo para facilitar a identificação do(a) parecerista." PENDÊNCIA ATENDIDA

PENDÊNCIA 02: O cronograma deverá ser atualizado prevendo o início da coleta de dados após a aprovação do CEP. ANÁLISE: Os pesquisadores esclareceram que "O cronograma foi atualizado nas páginas 23 e 24 do Projeto Detalhado para que a coleta de dados (obtenção das amostras) ocorra após aprovação no CEP". PENDÊNCIA ATENDIDA

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Endereço: Av. Universitária, Km 3,5	CEP: 75.083-515
Bairro: Cidade Universitária	
UF: GO	Município: ANAPOLIS
Telefone: (62)3310-6736	Fax: (62)3310-6636
	E-mail: cep@unievangelica.edu.br



UNIVERSIDADE EVANGÉLICA
DE GOIÁS - UNIEVANGÉLICA



Continuação do Parecer: 4.977.102

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1655231.pdf	23/08/2021 10:31:03		Aceito
Outros	CARTA_DE_ENCAMINHAMENTO_23_agosto_2021.docx	23/08/2021 10:30:28	Marco Aurélio de Carvalho	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Detalhado.docx	23/08/2021 10:29:34	Marco Aurélio de Carvalho	Aceito
Outros	TERMO_DE_COMPROMISSOassinado novamente.pdf	23/08/2021 09:03:38	Marco Aurélio de Carvalho	Aceito
Declaração de Manuseio Material Biológico / Biorepositório / Biobanco	TERMO_DADOS.pdf	30/04/2021 16:36:37	Marco Aurélio de Carvalho	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto.pdf	20/04/2021 18:21:40	Marco Aurélio de Carvalho	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TERMO_DE_CONSENTIMENTO_LIVRE_ESCLARECIDO.docx	18/03/2021 13:49:31	Marco Aurélio de Carvalho	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

ANAPOLIS, 15 de Setembro de 2021

Assinado por:

Constanza Thaise Xavier Silva
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Universitária, Km 3,5

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 75.083-515

UF: GO

Município: ANAPOLIS

Telefone: (62)3310-6736

Fax: (62)3310-6636

E-mail: cep@unievangelica.edu.br

Página 03 de 03