

RENATO SUSSUMU NISHIOKA

**ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES INTERNAS,
PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS, EM UMA
RAIZ COM UM RETENTOR INTRA-RADICULAR
PRÉ-FABRICADO, ROSQUEADO E COM FENDA APICAL**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia, Campus de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTOR, pelo curso de Pós-Graduação em ODONTOLOGIA, Área de Concentração em Prótese Parcial Fixa.



Orientador: Prof. Adj. Marco Antonio Bottino

São José dos Campos

1999

103
N 6332
F 1412

Apresentação gráfica e normalização de acordo com:

RIBEIRO, J. F. et al. *Roteiro para redação de monografias, trabalhos de cursos, dissertações e teses*. São José dos Campos, 1993.63p

NISHIOKA, R. S. *Estudo da distribuição das tensões internas pelo método dos elementos finitos, em uma raiz com retentor intra-radicular pré-fabricado, rosqueado e com fenda apical*. São José dos Campos, 1999, 147p. Tese (Doutorado em Odontologia) - Faculdade de Odontologia, Campus de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

*Aos pais, Asako e
Mitio Nishioka.*

À esposa Leinha, eternamente o centro de minha vida.

Aos filhos, Felipe e Gabriela, a compreensão pela ausência.

*Ao Professor Adjunto Marco Antonio Bottino,
responsável por todos os degraus alcançados durante a
vida acadêmica e que, nos momentos mais sombrios,
com sapiência e amizade, orientou-me para a trajetória
mais íntegra.*

*Ao Fernando Ferraz, engenheiro responsável
pela elaboração da parte técnica da análise dos
Elementos Finitos que, pelo diletantismo e dedicação
que sempre estiveram presentes, proporcionou a
execução desse trabalho.*

Agradecimentos

À Faculdade de Odontologia, Campus de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pela oportunidade de realizar o curso de Pós-graduação nessa entidade.

À Professora Titular Maria Amélia Máximo de Araújo e ao Professor Doutor Maximiliano Piero Naisser, pelas correções e sugestões formuladas, para que o trabalho pudesse ser conduzido da melhor forma possível.

Ao Professor Titular Edmir Matson e ao Professor Doutor Matsuyoshi Mori, pelo incentivo e coordenação inicial e que, de forma exemplar, sempre me atenderam prontamente.

Aos Professores Doutores Estevão Kimpara e Fernando Eidi Takahashi, por correções sugeridas.

Ao Professor Assistente Carlos A. Pavanelli, pelo auxílio imprescindível na configuração das figuras.

À Professora Iracema Queiroz Guimarães, pela paciência na correção ortográfica e sintaxe.

À bibliotecária Angela Brito Bellini, pela dedicação e esmero na correção da parte bibliográfica.

Ao chefe do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese, Professor Doutor Aldari R. Figueiredo, pela facilitação do desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas de curso, Professor Doutor Nelson Macedo e Professor Doutor Wagner de Oliveira.

Aos amigos pós graduandos, Marcos K. Itinoche, Eduardo E. A. Santos e Denise O. Kanashiro.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1 Elementos finitos.....	17
2.2 Pino pré-fabricado, rosqueado e com fenda apical.....	33
2.3 Outros pinos e/ou outros métodos.....	61
3 PROPOSIÇÃO.....	79
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	80
4.1 Preparo do dente que receberá o pino.....	80
4.2 Características do pino.....	81
4.3 Construção do modelo dos elementos finitos.....	83
4.3.1 Modelo geométrico.....	84
4.3.1.1 Obtenção da fotografia.....	84
4.3.1.2 Obtenção das imagens.....	86
4.3.1.3 Modelo sólido.....	87

4.4 Condições de contorno.....	94
4.5 Condições de carregamento.....	96
4.5.1 Condição de carregamento F1.....	99
4.5.2 Condição de carregamento F2.....	100
4.5.3 Condição de carregamento F3.....	101
4.6 Propriedades físicas dos materiais.....	102
5 RESULTADOS.....	105
5.1 Carregamento vertical.....	105
5.2 Carregamento oblíquo.....	109
5.3 Carregamento horizontal (de lingual para vestibular).....	112
5.4 Sem carregamento.....	115
6 DISCUSSÃO.....	117
7 CONCLUSÕES.....	126
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
RESUMO.....	146
<i>ABSTRACT</i>	147

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Características do pino.	83
FIGURA 2- Inserção do flexi-post número 2 na raiz, para formar o conjunto pino/raiz.	85
FIGURA 3- Desenho do conjunto pino/raiz pelo programa Autocad R 14.	87
FIGURA 4- Demonstra em detalhes a configuração do pino, das roscas e da fenda aberta.	88
FIGURA 5- O programa permite rotacionar o pino em diversas posições	89
FIGURA 6- Desenho inicial pino/raiz, com apresentação dos elementos tetraédricos e dos respectivos nós.	90
FIGURA 7- Representa a simulação de uma situação real da raiz com a inserção do pino.	92
FIGURA 8- Desenho final com elaboração dos elementos tetraédricos e dos respectivos nós.	93
FIGURA 9- Simulação das condições fisiológicas de contorno.	95
FIGURA 10- Evidencia a simulação da aplicação de uma carga vertical e de outra horizontal na região apical com objetivo de promover o fechamento da fenda.	97
FIGURA 11- O pino isolado e o fechamento da parte apical e a tensão contrária a esse fechamento, demarcado pela linha escura.	98
FIGURA 12- O desenho em detalhe da situação anterior.	98
FIGURA 13- Visão geral do carregamento vertical sobre o bordo incisal do pino e a tensão contrária ao fechamento da fenda,	

na região apical.	99
FIGURA 14- Visão detalhada do carregamento vertical.	99
FIGURA 15- Visão panorâmica do carregamento oblíquo.	100
FIGURA 16- Detalhe do carregamento a 45°.	100
FIGURA 17- Visão geral do carregamento de lingual para vestibular.	101
FIGURA 18- Visão detalhada do carregamento de lingual para vestibular.	101
FIGURA 19- Caracterização dos locais em que foram empregados os valores para o módulo de elasticidade coeficiente de Poisson.	103
FIGURA 20- Verifica-se que a maior tensão ocorreu na parte cervical do pino com um limite máximo de 9.515 N e que ao redor das roscas fica evidente a tensão gerada.	106
FIGURA 21- Visão detalhada da tensão gerada na região cervical.	106
FIGURA 22- Secção sagital, identificando a região com maior tensão cervical.	107
FIGURA 23- Sob carregamento vertical, evidencia-se claramente a tensão na região apical do pino.	107
FIGURA 24- Sob carregamento vertical, demonstra-se a tensão interna decorrente do fechamento da parte apical do pino.	108
FIGURA 25- Tensão gerada ficou ligeiramente superior na região cervical, ficando por volta de 109 N.	109
FIGURA 26- Sob carregamento oblíquo detalhe da região cervical.	110
FIGURA 27- Sob carregamento oblíquo, constata-se no plano sagital a concentração de tensão na área cervical.	110
FIGURA 28- Sob carregamento oblíquo, na região apical, observa-se uma concentração de tensão inferior na região cervical.	111
FIGURA 29- Sob carregamento oblíquo detalhe da tensão moderada na região de fechamento apical próximo a 68.11 N.	111

FIGURA 30- Verifica- se concentração de tensão na área cervical.	112
FIGURA 31- Sob carregamento horizontal, detalhe da tensão na área cervical.	113
FIGURA 32- Sob carregamento horizontal, no plano sagital, presencia- se a concentração da tensão.	113
FIGURA 33- Sob carregamento horizontal, a concentração na região apical é menor do que na região cervical.	114
FIGURA 34- Sob carregamento horizontal, a tensão na região apical situa- se em 71.5 N.	114
FIGURA 35- Concentração de tensão na região apical sem carregamento.	115
FIGURA 36- Detalhe da concentração de tensão contrária ao fechamento da fenda.	115
FIGURA 37- Sem carregamento, no plano sagital, constata-se tensão na região apical.	116

1 INTRODUÇÃO

Restaurações ideais em dentes tratados endodonticamente são resoluções que devem ser elaboradas com o devido cuidado, uma vez que, tanto nos casos de próteses unitárias como em próteses fixas, deparamo-nos com variações relacionadas à configuração anatômica, grau de destruição coronária, localização do dente no arco dental e nível da crista óssea alveolar. São variáveis que influenciam no sucesso final da restauração.

Uma das técnicas tradicionalmente utilizadas é a confecção de pinos metálicos fundidos, tendo como objetivo principal a retenção da prótese, a criação de uma retenção intra-radicular para um substrato coronário, que foi anteriormente destruído pela cárie ou por fratura. Os pinos metálicos não possuem o objetivo de fortalecer a estrutura dentária (Sorensen & Martinoff ⁶⁸, 1984; Trope et al. ⁷⁶, 1985; Hunter et al. ⁴², 1989; Cailleteau et al. ⁷, 1992; Assif et al. ³,

1993; Assif & Gorfil¹, 1994; Ho et al.³⁹, 1994; Gluskin et al.³⁷, 1995).

Uma outra possibilidade de se restaurar os dentes tratados endodonticamente é a utilização de pinos pré-fabricados, que podem possuir uma configuração cônica ou cilíndrica, ter uma superfície lisa, serrilhada ou rosqueada, ser manufaturados em aço inoxidável ou em titânio. Pesquisas mais recentes evidenciam os pinos de fibras de carbono (Isidor et al.⁴³, 1996 ; Sidoli et al.⁶⁷, 1997; Martinez-Insua et al.⁵², 1998) e os pinos cerâmicos (Meyeborg et al.⁵⁴, 1995; Zalkind & Hochman⁸⁰ 1998). Todos os pinos pré-fabricados possuem, como característica básica, a simplicidade para sua utilização clínica, devido à facilidade de técnica e à agilidade para sua instalação, associada ao pouco tempo consumido e a não utilização do laboratório comercial (Standlee et al.⁷¹, 1980). Apesar das vantagens dos pinos pré-fabricados, Stegaroiu et al.⁷² (1996) constataram que os pinos metálicos fundidos são mais retentivos que os pré-fabricados, pois apresentam uma adaptação íntima com a parede interna da superfície radicular.

A conservação máxima possível da estrutura dentinária deve ser prioridade para uma raiz que vai receber um pino intra-radicular fundido ou pré-fabricado (Mattison⁵³, 1982; Sorensen & Martinoff⁶⁸, 1984; Plasmans et al.⁶², 1986; Assif et al.^{2,3}, 1989, 1993; Hunter et al.⁴², 1989; Felton et al.³⁶, 1991; Chan et al.⁹, 1993; Loyd & Palik⁵¹, 1993; Assif & Gorfil¹ 1994; Gluskin et al.³⁷ 1995).

Em 1984, foi apresentado um desenho inovador de pino pré-fabricado, o sistema Flexi-post*, desenvolvido pelos endodontistas Musikant & Deutsch⁵⁶ em resposta a falhas encontradas em outros pinos existentes no mercado. Suas pesquisas se direcionaram ao desenvolvimento de um pino que gerasse uma quantidade mínima de tensão, tanto durante a sua inserção como sob função de cargas mastigatórias. O relacionamento das tensões geradas em uma raiz por um pino pré- fabricado é de importância vital e devemos ter em mente que, a simples colocação de um pino metálico fundido altera todo um padrão de tensão ao longo da raiz, quando comparado com um dente sem restauração intra- radicular (Cailleteau et al.⁷, 1992). A tensão gerada na área cervical entre diferentes pinos pré-fabricados

* Essential Dental Systems, Inc.

foi analisada durante a inserção e sob função (Burns et al.⁶ 1990), por meio de estudos que utilizaram da fotoelasticidade para a verificação do comportamento dessas tensões.

Na busca de valores, não apenas qualitativos, como os fornecidos pelo estudo da fotoelasticidade, mas, principalmente quantitativos, buscou-se na matemática uma resposta para essas situações. Assim sendo, podemos destacar o Método dos Elementos Finitos, que se utiliza de um modelo matemático que se aproxima da geometria do objeto a ser analisado. É um estudo de campo das tensões e deformações em um meio contínuo. Foi introduzido por Turner⁷⁷ (1956), que empregou uma formulação matricial para a análise estrutural. O cálculo dessa tensão permite ao investigador determinar áreas de maiores tensões ou de deformações que poderiam induzir a uma fratura. Com auxílio de um programa de computador específico que idealiza um modelo geométrico e realiza a construção das malhas que são as características dos elementos finitos, o MSC Nastran^{*}, analisam-se os locais em que ocorrem as maiores tensões na dentina radicular.

^{*} The Mac Neal Schwendler Corporation

2 REVISÃO DA LITERATURA

As avaliações dos pinos intra-canal têm sido, ao longo do tempo, estudadas por vários autores que correlacionaram diferentes desenhos de pinos à capacidade retentiva, como também ao efeito das tensões que ocorrem nas estruturas dentárias. Neste segmento de pesquisa, observamos que várias metodologias e equipamentos foram empregados. Entre essas metodologias, apesar de não se relacionar diretamente com a pesquisa, o estudo da fotoelasticidade serviu de alicerce para visualizarmos e compreendermos o comportamento das tensões geradas sob as várias modalidades de pinos.

Dividimos a Revisão da Literatura em tópicos para a facilitação da leitura: 1) elementos finitos; 2) pinos pré-fabricados, rosqueados e com fenda apical e 3) outros pinos/métodos.

2.1 Elementos finitos

Considerações

O conceito do *Método dos Elementos Finitos* pode ser ilustrado pelo mecanismo de uma simples mola. A deflexão da mola (encurtamento ou alongamento) é proporcional à magnitude da força aplicada e à rigidez da mola. A deflexão ou resistência à deformação sob uma carga é governada, primariamente, pela geometria e o módulo de elasticidade do material, que é difícil de ser determinado quando o objeto possui um formato complexo.

O Método dos Elementos Finitos tem como objetivo simplificar esses cálculos para permitir ao operador subdividir uma estrutura em pequenas partes ou elementos. Esses elementos podem ter diversos formatos, cujos lados são conectados por pontos, denominados de pontos nodais. A localização dos pontos nodais é definida utilizando-se um sistema de coordenadas bi ou

tridimensionais, fornecendo um método para especificar a forma e o tamanho do objeto. A subdivisão de estruturas facilita a determinação da rigidez estrutural e, em resumo, da deflexão e da tensão. Dessa forma, o cálculo dessa tensão permite ao investigador determinar áreas de alta tensão ou de deformação que poderiam induzir à fratura ou à falha da estrutura. Com o advento dos computadores, a solução desses sistemas de equações algébricas lineares tornou-se mais simplificada. Os pontos nodais funcionam como pontos para aplicação de força ou momento da estrutura. Dessa maneira, a deflexão e a tensão são fornecidas pela equação:

$$\text{Força (F)} = \text{rigidez (K)} \times \text{deflexão}(\Delta).$$

Um dado importante considerado por Van Vlack⁷⁸(1984) é a necessidade de conhecermos as propriedades dos materiais e de alguns princípios mecânicos que irão reger a condução do trabalho, como por exemplo, a *deformação elástica* que ocorre quando uma tensão é aplicada sobre qualquer material sólido. Quando a carga aplicada for de tração, a peça tensionada torna-se ligeiramente mais longa; a remoção da carga permite que o material retorne às suas dimensões originais. No caso da carga ser compressiva, a peça torna-

se ligeiramente menor. A *deformação elástica* é um resultado do pequeno alongamento da célula unitária da direção da carga de tração, ou uma pequena contração naquela carga compressiva. Quando ocorre apenas deformação elástica, ela é essencialmente proporcional à tensão aplicada. A razão entre a tensão e a deformação é o *módulo de elasticidade* (módulo de Young). Exemplificando: quanto maiores as forças de atração entre os átomos do metal, maior o módulo de elasticidade.

Qualquer alongamento ou compressão da estrutura cristalina em uma direção, devido a uma força uniaxial, produz um ajuste ou acomodação nas dimensões perpendiculares à direção da força. A relação entre a deformação elástica transversal e a deformação elástica longitudinal é chamada de *coeficiente de Poisson* (Turner⁷⁷, 1956). Nesse estudo, as tensões foram os resultados de interesse. No contexto do modelo efetuado, a saber, uma malha tridimensional de elementos tetra, penta e hexagonais, o conhecimento das tensões possibilitou uma avaliação tanto qualitativa quanto quantitativa do grau de solicitação a que cada elemento ósseo ou protético está submetido.

Quando se comparam os efeitos da tensão, pode ser utilizado o Critério de Máxima Energia de Distorção, conhecido também como Von Mises (Richard Von Mises). Esse critério baseia-se na determinação da energia de distorção, que é a energia relacionada com as mudanças na forma do material, contrapondo-se à energia relacionada com mudanças de volume do material (Dieter³² 1981).

Com o auxílio do Método dos Elementos Finitos, Thoresher & Saito⁷⁵ (1973) verificaram a distribuição das tensões geradas em um dente humano íntegro. Constataram que, quando uma carga é aplicada perpendicularmente ao longo eixo do dente, a tensão gerada é distribuída para o osso, ao redor da raiz, provocando características de compressão e de tração. O ponto de transição entre a compressão e a tração localizou-se no centro da raiz, enquanto que os maiores deslocamentos ocorreram na metade superior do dente.

Aplicando o Método dos Elementos Finitos, Farah & Craig³⁴ (1974) analisaram, em coroas totais com diferentes tipos de configuração de término cervical, quais os locais de maior tensão,

bem como a influência desses términos na quantidade de tensão gerada e distribuída. O término em chanfro resultou na menor quantidade de tensão axial, seguido do ombro biselado e da lâmina em faca. A maior tensão encontrada foi gerada no término em lâmina em faca, causada pela espessura mais delgada do bordo metálico; portanto, esse tipo de término é mais frágil e com as tensões mais elevadas.

O conhecimento da intensidade e distribuição das tensões pode ser útil para evitar ou minimizar as falhas das restaurações. Selna et al.⁶⁶(1975) descreveram os fundamentos básicos de aplicação do Método dos Elementos Finitos, detalhando a construção de um modelo de pesquisa em um pré-molar e as equações matemáticas que orientam esse tipo de trabalho, podendo ser aplicadas para representações bi ou tri-dimensionais. Os resultados na análise mostraram as tensões principais mínimas e máximas nas diferentes localizações do dente, fornecendo uma visualização clara da distribuição das tensões. Como poderia ser esperado, a maior intensidade ocorreu diretamente entre as cargas aplicadas.

Uma avaliação quantitativa e qualitativa dos esforços que ocorrem numa restauração com amálgama de prata foi realizada por Corrêa & Matson²⁴ (1977) através de um estudo bi-dimensional com o Método dos Elementos Finitos. Sob a ação de uma carga mastigatória de 24 kgf, constataram que, na restauração de amálgama de prata de uma cavidade de Classe I, ocorreu uma grande concentração de esforços junto à crista marginal transversal na própria estrutura dental, principalmente no esmalte. O Método dos Elementos Finitos é de real importância na análise qualitativa e quantitativa dos esforços gerados numa restauração, no esmalte e na dentina. Portanto, sobrepuja em muito a fotoelasticidade.

O Método dos Elementos Finitos foi utilizado por Farah et al.³⁵ (1977) para investigar os efeitos da distribuição das tensões na parede axial de um preparo cavitário para uma restauração metálica fundida em ouro. Oito diferentes desenhos de preparos em dentes molares foram realizados, variando a angulação das paredes axiais, a presença ou não do bisel e com ou sem proteção de cúspide. Com a ajuda desses esquemas, foi possível avaliar que a parede axial sofrerá

uma menor tensão, se tanto a inclinação dessa parede como o bisel cavo-superficial forem mínimos. Esse tipo de preparo cavitário resultará numa menor tensão, se houver uma proteção das cúspides. Portanto, em preparo para coroas parciais, o recobrimento com ouro das cúspides associado a uma extensão para as faces livres do dente, irá funcionar melhor na distribuição das tensões do que simplesmente o término em bisel na ponta da cúspide.

O comportamento mecânico do dente, da membrana periodontal e do osso mandibular foi pesquisado num plano bi-dimensional com auxílio do Método dos Elementos Finitos por Kitoh et al.⁴⁶ (1977), que verificaram que o deslocamento da membrana periodontal foi muito maior do que a que ocorreu no dente e no osso mandibular, quando submetido a uma carga oclusal. A membrana periodontal tornou-se numa condição hidrostática sobre uma carga oclusal e mostrou uma grande capacidade de sustentar o dente. Afirmaram que o Método dos Elementos Finitos é superior ao da fotoelasticidade devido à facilidade em simular a composição dos materiais com diferentes propriedades elásticas, ao cálculo

simultâneo da tensão interna e ao deslocamento em qualquer parte do material e devido à simplicidade do método experimental.

O Método dos Elementos Finitos foi útil para Carvalho⁸ (1979) verificar as tensões que ocorreram em dentes restaurados com amálgama de prata (Classe I), sob ação de uma força estática e concentrada aplicada em diversas posições. O autor verificou que, quando se aplicou uma força concentrada na altura das cristas marginais transversais, apareceram tensões maiores junto ao limite cimento- esmalte do lado correspondente à aplicação da força. E quando se aplicou uma força concentrada a meia distância entre as cristas marginais transversais, as tensões foram todas de compressão e uniformemente distribuídas por toda a base da restauração com amálgama de prata. De acordo com a posição da força concentrada, sempre ocorreu uma deflexão na base da restauração com amálgama de prata. Esse método aumenta a avaliação das propriedades mecânicas tanto do dente como do material restaurador. Dessa maneira, é um método de avaliação superior ao da fotoelasticidade.

A determinação dos locais de maior concentração das tensões em raízes restauradas por vários desenhos de pinos foi estudada por Davy et al.²⁵(1981) pelo Método dos Elementos Finitos em incisivos centrais superiores. O efeito do comprimento do pino, na quantidade das tensões geradas, foi proporcionalmente menor do que as variações do diâmetro. O efeito nas variações de comprimento do pino resultou em mudanças da localização na concentração da tensão, que ocorreu no ápice do pino em todos os casos. Para as cargas aplicadas nesse estudo, os pinos cônicos demonstraram uma discreta concentração de tensão, quando comparados com os cilíndricos. Utilizado como o pico de tensão mais elevada na dentina, o pino cilíndrico de maior diâmetro mostrou o melhor desenho entre os diferentes tipos de pinos analisados.

A análise da tensão de um dente restaurado com um pino foi verificado por Peters et al.⁶³ (1983) com auxílio de um modelo matemático bi-dimensional, o Método dos Elementos Finitos. Essa investigação verificou o diâmetro, o comprimento e o formato do pino. Constataram pequenas diferenças na distribuição da tensão

entre as estruturas do dente remanescente e do osso alveolar. Uma discreta preferência deveria ser dada aos pinos mais longos e cilíndricos do que aos de largo diâmetro, desde que os limites clínicos não fossem excedidos.

O efeito da perda em altura do osso alveolar relacionado com a magnitude e a distribuição da tensão na dentina foi verificado por Reinhardt et al.⁶⁴ (1983) que utilizaram incisivos centrais superiores tratados endodonticamente e restaurados com pinos intra-radiculares em quatro níveis diferentes de suporte periodontal. Com o auxílio do Método dos Elementos Finitos, os autores concluíram que as tensões na dentina aumentavam proporcionalmente à migração apical do nível ósseo. Esse aumento foi significativo quando constatarem uma diminuição de 6 mm de perda de osso alveolar. Nesse ponto, a tensão na dentina aumentou de 4,4 para 10,2 vezes em relação ao nível normal, quando comparado com a altura normal do nível ósseo alveolar. Concluíram, também, que a fratura radicular tende a ocorrer com maior frequência em dentes com reabsorção da altura do osso alveolar.

A tensão de uma raiz tratada endodonticamente e restaurada com pino metálico de terminação cônica, associada a graus variados de envolvimento periodontal, foi analisada por Pao et al.⁶¹ (1987) empregando o Método dos Elementos Finitos. O modelo matemático foi obtido a partir de um incisivo central superior seccionado no sentido vestibulo-lingual e que recebeu uma carga aplicada de 1 newton. Baseado nas análises, os pinos com a terminação cônica ofereceram vantagens sobre os pinos cilíndricos. Dentes com uma quantidade periodontal normal necessitaram de um pino longo e de largo diâmetro. Quando o suporte periodontal apresentou-se diminuído, a inserção de pinos com terminação cônica reduziu a tensão na dentina, como também a possibilidade de uma perfuração. Porém, os pinos com terminação cônica permitem preservar uma maior quantidade de dentina na região periapical.

Suzuki & Hata⁷³ (1989) utilizaram o Método dos Elementos Finitos em esquemas de desenhos de primeiro pré-molares inferiores, para verificarem as tensões em coroas ocas de porcelana, tendo como

variáveis o material da porcelana e do núcleo metálico. No núcleo de liga aurica, constataram que as tensões foram produzidas apenas no lado de aplicação de carga sobre as coroas de porcelana e a quantidade das tensões geradas pelo tipo de material do núcleo tiveram uma baixa influência nos resultados.

Uma comparação da tensão intracanal em dentes restaurados, utilizando o Método dos Elementos Finitos, foi realizada por Cailleteau et al.⁷(1992) com um modelo geométrico bi-dimensional de um incisivo superior, contando com quatro variações de modelos: o primeiro, com o dente íntegro; o segundo, com tratamento endodôntico; o terceiro, tratado endodonticamente e restaurado com uma coroa total e, no último modelo, o dente foi tratado endodonticamente e restaurado com um pino cilíndrico de 1.5mm de diâmetro e com uma coroa total. Cada modelo recebeu a carga de 1 newton, perpendicular à superfície lingual. Os resultados mostraram que a colocação de um pino intra- radicular altera o padrão de tensão ao longo de toda a raiz, quando comparado com um dente íntegro. O pino não forneceu uma distribuição uniforme de tensão na parede

interna do canal. Portanto, a colocação de pinos não deveria ser recomendada como rotina após o tratamento endodôntico em incisivos centrais superiores, se houver um suficiente remanescente coronário para receber uma restauração, contradizendo uma crença que os pinos fortalecem o dente, distribuindo uniformemente as cargas que atuam sobre ele.

Uma análise bi-dimensional do Método dos Elementos Finitos foi empregada por Ko et al.⁴⁷ (1992), que utilizaram um modelo de incisivo central superior com um pino metálico intracanal de aço inoxidável em três situações diferentes, considerando as cargas aplicadas no modelo: a F1, que representou a força mastigatória aplicada num ângulo de 45° aplicada na borda incisivo lingual; a F2, que simulou uma força traumática horizontal aplicada pela face lingual e a F3, uma carga vertical que atuou sobre a borda incisal com uma carga de 1 newton e que incidiu uniformemente sobre a crista incisal. Verificaram que a colocação de pinos metálicos reduziu ao máximo a tensão na dentina em apenas 3 a 8 %, quando os dentes foram submetidos às cargas traumáticas e mastigatórias.

Contudo, os pinos reduziram em no máximo 20% a tensão na dentina, quando submetidos às cargas verticais. Dentes como os incisivos e caninos, normalmente não estão sujeitos às cargas verticais; portanto, o efeito de reforço para esses dentes deveria ocorrer de uma maneira prudente.

Os efeitos causados por um pino metálico na distribuição da tensão na dentina foram pesquisados por Ho et al.³⁹ (1994), com a ajuda de uma análise tri-dimensional fornecida pelo Método dos Elementos Finitos em um incisivo superior anterior. Duas cargas foram aplicadas no modelo: a primeira carga foi aplicada por lingual no bordo incisal e num ângulo de 45° ; a segunda foi aplicada horizontalmente na face vestibular de um trabalho protético, ambas com 100 N . Dessa forma, verificaram que, em dentes submetidos a cargas mastigatórias e traumáticas, a distribuição da tensão na dentina foi similar tanto para dentes com pinos como para aqueles sem pinos. A tensão máxima apresentada na dentina foi reduzida apenas de 7% para as cargas de tração e de 10% para as cargas de compressão, isso para os pinos de liga de ouro e de 10% para as

cargas de tração e de 14,5% para as cargas de compressão para pinos de aço inoxidável. Portanto, o reforço com pinos para dentes anteriores parece ter um efeito limitado.

Um estudo da distribuição das tensões internas em um dente natural e em um dente restaurado com uma coroa metalo-cerâmica e retentor intra-radicular fundido, sob carga axial, foi realizado por Mori⁵⁵ (1994) com auxílio do Método dos Elementos Finitos, onde verificou que as maiores tensões de Von Mises encontraram-se sob o ponto de aplicação da carga mastigatória, tanto no dente íntegro como no dente restaurado. No dente natural, as maiores tensões de Von Mises encontraram-se deslocadas para o lado de aplicação da carga mastigatória, enquanto que, no dente restaurado, essas tensões, que foram superiores em relação às primeiras, foram dirigidas mais para o centro do elemento dental. Ocorreu, na região do ápice dental e no osso esponjoso, uma pequena concentração de tensões de Von Mises. Essas tensões foram maiores no dente restaurado do que no dente íntegro. Na interface do núcleo e na parede do conduto

radicular ocorreu uma concentração acentuada de tensões de Von Mises .

As influências do diâmetro e do comprimento de um pino na distribuição da tensão sobre um dente canino foram verificadas com um modelo padrão tri-dimensional do Método dos Elementos Finitos, por Holmes et al.⁴⁰(1996), com um núcleo metálico fundido paralelo com 1.4mm de diâmetro e 13mm de comprimento, sendo que a parte coronária possui 4mm de altura por 2.85mm de largura. Esse núcleo recebeu uma coroa metalo-cerâmica cimentada com cimento fosfato de zinco. Cada modelo recebeu uma carga de 100 N aplicada sobre a ponta da cúspide, num ângulo de 45⁰ em relação ao longo eixo de dente. Os autores constataram que pequenas alterações nas dimensões do pino possuem um efeito mínimo na distribuição da tensão de cisalhamento e compressão na dentina. As maiores tensões de cisalhamento ocorreram adjacentes ao pino na metade da raiz. Uma elevada tensão de cisalhamento na dentina foi verificada quando o comprimento do pino está reduzido.

2.2 Pino pré-fabricado, rosqueado e com fenda apical

Nesse capítulo, analisaremos os autores que pesquisaram os pinos pré-fabricados, comercialmente denominados Flexi-post, comparando ou não com outras configurações de pinos.

Musikant & Deutsch⁵⁶ (1984) apresentaram um sistema de pinos pré-fabricados, cuja característica principal é exercer a mínima tensão na superfície radicular, diminuindo, dessa maneira, a tendência de uma possível fratura decorrente da tensão sofrida, tanto durante a inserção como quando sob função. Tal fato é observado em virtude da presença de uma fenda na região apical. Os autores consideraram que esses pinos rosqueados e paralelos são os mais retentivos, pois esse sistema desenvolve uma retenção suficientemente constatada nos testes de tração, ao mesmo tempo que possui a capacidade de diminuir a tensão durante a sua inserção, o que foi demonstrado pelo estudo da fotoelasticidade, que caracteriza-se por ser um processo fotográfico obtido a partir de um



L. 1412

bloco de resina transiluminado com uma luz polarizada, cujo resultado é interpretado pelas cores apresentadas e pelo número de anéis gerados, que fornecerão, de uma forma qualitativa, a tensão desenvolvida. Ainda demonstraram que esse sistema de pino produziu uma tensão limitada, mesmo quando submetido a um torque máximo. Esse sistema de pino pré-fabricado fornece um desenho específico, que reduz a tensão durante a instalação e que está associado também ao aumento da retenção.

A capacidade retentiva de um novo pino foi apresentada, em 1985, por Deutsch et al.²⁸ que dividiram o experimento em duas partes. Na primeira etapa, cimentaram dez pinos Flexi-post número 2 com cimento fosfato de zinco em canais radiculares e verificaram a capacidade retentiva, utilizando uma máquina de testes universal. Na segunda etapa, foram utilizadas quarenta raízes, as quais alojaram pinos Flexi-post número 00, 1, 2 e 3, que correspondem a diferentes diâmetros e foram cimentados com cimento fosfato de zinco. Baseando-se nos resultados obtidos de um trabalho realizado por Standlee et al.⁷¹ em 1980, os autores concluíram que o Flexi-post foi

o pino mais retentivo entre os pinos Kurer, Radix e Parapost analisados em estudo similar. A capacidade retentiva do pino torna-se maior quanto maior o tamanho e diâmetro utilizado.

A adaptação de um pino pré-fabricado na dentina foi analisada por Deutsch et al.²⁷ (1985) em vinte raízes, sendo que metade dos pinos Flexi-post foram cimentados com cimento resinoso e a outra metade cimentada com cimento fosfato de zinco. Verificaram, através de um corte longitudinal, que a extremidade da fenda ficou unida na região apical e o espaço que compreende a fenda foi preenchido pelo cimento. Foi constatado que aproximadamente 0.1mm de cimento foi encontrado entre o pino e a parede do canal preparada. As roscas eram afiadas e ficaram retidas na dentina, causando mais do que uma simples acomodação nessa parede interna. A profundidade da rosca para dentro da dentina variou com a posição ocupada pela rosca no pino, pois as roscas localizadas apicalmente cortam menos do que as roscas coronárias. Apenas um único trajeto espiral de rosca corta a dentina, o que é indicado durante o trajeto de inserção da segunda rosca que foi direcionado

exatamente no mesmo canal na dentina promovido pela primeira inserção. O segundo compartimento criou um degrau que impede uma inserção apical desnecessária.

Musikant & Deutsch⁵⁷ (1985) idealizaram uma pesquisa em três partes, sendo a primeira realizada em laboratório, com trinta e dois dentistas, onde verificaram o relacionamento entre o desenho de pinos radiculares e a tensão produzida em blocos acrílicos incolores. A determinação do torque ideal (pressão de rotação) para a inserção de pinos rosqueados foi, em média, de 15.5 onças por polegada quadrada. A determinação da quantidade máxima de torque que um dentista pode aplicar enquanto coloca um pino rosqueado foi de 38 onças por polegada quadrada. Até a apresentação comercial do pino Flexi-post, o pino Kurer era o mais retentivo, seguido do Radix e do Parapost, sendo que os pinos fundidos possuíam a menor retentividade. Uma espessura mínima de dentina de 1.7 mm na região periapical deveria ser preservada para diminuir as chances de fratura nessa região. Nessa pesquisa, verificaram também que o desenho do pino determina a quantidade de torque necessária para o completo

assentamento. Os pinos cônicos e rosqueados fornecem uma boa retenção, porém a tensão na parte coronária do raiz aumenta o risco de fratura vertical. Quando uma alta retenção é obtida, uma excessiva tensão é produzida na raiz.

Na segunda parte da pesquisa, Musikant & Deutsch⁵⁸ (1985) apresentaram o pino Flexi-post como um pino que associou o máximo de retenção com um mínimo de tensão; portanto, com alto grau de segurança. O segundo setor do pino aumenta a adaptação na área cervical e estabelece um braço de alavanca mais curto, o que diminui a força produzida quando o dente está em função. A característica marcante é uma fenda na parte apical que permite que os dois hemi-segmentos aproximem-se, quando um mínimo de força externa é aplicado. A mesma fenda também permite que os remanescentes da dentina sejam coletados para o interior da fenda, diminuindo a resistência durante a inserção do pino. Além disso, nenhum aumento de tensão ocorre dentro da raiz, pois cada rosca subsequente inserida aumenta a profundidade do sulco criado pela anterior.

Na última parte da pesquisa, Musikant & Deutsch⁵⁹ (1985) descreveram situações clínicas para a utilização do pino Flexi-post, que pode ser inserido numa profundidade adequada sem produzir uma tensão lateral, assegurando um mínimo de tensão tanto durante a inserção como também durante a função. A reconstrução coronária foi realizada com amálgama, devido à facilidade de manipulação e à baixa infiltração marginal na interface entre o amálgama e a dentina, reduzindo a instalação de uma cárie secundária. Em algumas situações, quando as margens estão localizadas subgengivalmente, a reconstrução com a resina composta torna-se mais difícil, devido à dificuldade de se conseguir um campo relativamente seco. A cimentação do Flexi-post deveria ser realizada com cimento fosfato de zinco ou ionômero de vidro, pois a resina composta não promove uma satisfatória integridade marginal.

Deutsch & Musikant²⁶ (1986) apresentaram o sistema Flexi-post como sendo um pino caracterizado por possuir uma fenda na região apical, que permite uma certa flexibilidade durante a inserção. Além disso, essa fenda cria um espaço para alojar os remanescentes

da dentina. Quando as roscas mais apicais do pino entram em contato com a parede interna da raiz, o pino começa a se flexionar para dentro, redirecionando a tensão para fora da raiz, pois a rosca inicial do pino não penetra totalmente na dentina. Como o pino está sendo direcionado para apical, a segunda rosca penetra mais profundamente no canal raso previamente criado pela primeira rosca. Dessa forma, cada rosca subsequente corta mais profundamente, mas sempre de uma maneira gradual, causando apenas um pequeno aumento da tensão lateral. Quando o dentista remove o pino antes de realizar a cimentação, verifica que todos os remanescentes de dentina estão no interior da fenda, podendo ser eliminados durante a prova do pino, permitindo, dessa forma, uma inserção final com menor tensão e com o trajeto da rosca evidente.

A capacidade retentiva de sete combinações com pinos pré-fabricados (Para-post, Brasseler post e Flexi-post) e com diversos agentes cimentantes (cimento fosfato de zinco, resina composta e ionômero de vidro) foi analisada por Brown & Mitchem⁴ (1987) em dentes anteriores superiores, cuja porção coronária foi eliminada na

junção cimento-esmalte. Os canais foram preparados com brocas seguindo as orientações do fabricante numa profundidade de 8 mm. A capacidade retentiva foi determinada pela tração em uma máquina de testes universal – Instron- numa velocidade de 5 mm por minuto. Verificaram que as retenções no pino Para-post possuem pouca influência na capacidade retentiva. Já o pino Flexi-post foi duas vezes mais retentivo que qualquer combinação de pino e cimento testado.

Os pinos Flexi-post e Parapost foram analisados por Greenfeld et al.³⁸ (1989) para verificar o modo de fratura quando se aplicou uma carga de um kilo-newton num ângulo de 130° em relação ao longo eixo da raiz na direção vestibulo-lingual, com uma carga compressiva de cisalhamento progressiva numa velocidade de 6 mm/min. Os pinos foram cimentados com fosfato de zinco em incisivos superiores. Na fratura inicial, não houve diferença estatisticamente significativa entre os pinos analisados. Na fratura final, caracterizada como uma fratura visual ou audível da coroa, raiz ou pino, foi observado que, entre nove dos dez pinos Flexi-post, a

força necessária para fraturar a raiz excedeu à máxima força de mordida de um homem; ao contrário da força necessária para fraturar três dos seis pinos Parapost que estavam dentro da média da força de mordida. Portanto, o Flexi-post comportou-se de maneira favorável, quando comparado com o Parapost.

Num trabalho, utilizando-se da fotoelasticidade, Burns et al.⁶ (1990) compararam a distribuição de tensão durante a inserção e a função em pinos pré-fabricados com diferentes desenhos: o Flexi-post, o Para-post e o Para-post plus, sendo criteriosos quanto ao comprimento, diâmetro e profundidade. Dessa maneira, puderam verificar, com o emprego do polaroscópio, as nuances de cores geradas nesses pinos em uma situação com ausência de carga, com uma carga compressiva de 135 N e com outra de 90 ou 135 N aplicadas obliquamente num ângulo de 26°. Esse estudo constatou que o Flexi-post produziu um modelo assimétrico de tensão na raiz, com uma concentração de tensão em cada rosca, bem como uma tensão elevada na área cervical, isto é, na área do ombro, quando

comparado com os outros dois pinos. Sob cargas compressivas, a tensão na região apical foi similar para os três pinos.

Com o auxílio de eslaides com aumento de 1:1, foram demonstrados a incidência e o grau de fratura resultante da colocação de pinos pré-fabricados cimentados com uma silicona de adição- o Express (3M)-, que preencheu todo o interior do canal. Felton et al.³⁶(1991) utilizaram os seguintes pinos: um pino obtido de fundição convencional e os pré-fabricados- Para-Post, Unimetric, Dentatus, Oburation screws, Flexi-Post, Kurer Anchors, Radix Anchors, Stress-free, Sure-Grip, Anchorex e Vlock-, em um total de 140 pré-molares extraídos. Verificaram que a quantidade de remanescente dentinário tem um significativo impacto na resistência à fratura, pois a maioria das fraturas radiculares foi de pinos inseridos, ocorreu na face mesial ou distal, como resultado da reduzida espessura da dentina associada à presença das concavidades radiculares. Porém, não houve uma diferença estatisticamente significativa na incidência de fratura radicular de qualquer pino avaliado em relação ao formato, conicidade e à presença ou não de roscas.

Burgess et al.⁵ (1992) utilizaram pré- molares tratados endodonticamente, onde as coroas clínicas foram removidas e divididas em quatro grupos. Os remanescentes radiculares receberam os seguintes pinos pré- fabricados: Flexi- post (pino rosqueado), Vlock, Para- post (pinos não rosqueados) e um pino experimental, todos cimentados com resina composta. Com uma máquina de ensaios mecânicos (Instron), verificaram a quantidade de força necessária para deslocar esses pinos em relação às forças de tensão, torção ou compressão. Os testes mostraram que o sistema de pinos experimentais testados com resina composta, associado aos agentes de união, não melhorou a capacidade retentiva do cimento resinoso em comparação à cimentação com resina composta que não se utilizou do agente de união. A maioria das falhas, em todas as amostras, ocorreu na interface dentina- resina, que foi uma falha primariamente adesiva. Devido à ocorrência dessas falhas terem sido na interface dentina-resina, não surpreendeu a similaridade dos valores de tensão para os pinos não rosqueados. Os sistemas de pinos rosqueados foram os que obtiveram os maiores valores em relação à resistência à tração aplicada. O Flexi-post mostrou a maior

resistência à tração e à torção. As cargas compressivas necessárias para fraturar a reconstrução coronária, sobre o pino Vlock, foram as mais elevadas em relação aos outros pinos.

As propriedades retentivas de um pino rosqueado e bi-partido, cortado apicalmente em diferentes níveis, foram comparadas por Cohen et al.¹³ (1992) que utilizaram os pinos Flexi-post número 1 e número 2, cimentados com fosfato de zinco em dentes uniradiculares. Com uma máquina de ensaios- Comten- foram obtidos os valores de retenção de cada segmento. Quando utilizaram o pino número 1, verificaram que, com uma redução apical de 1, 2, 3 e 5mm do comprimento do pino, não houve diferenças significativas quanto à retenção quando comparado com o comprimento original desse pino. Com a redução de 4mm desse pino, foi registrado um aumento significativo na retenção. Quando se utilizou o pino número 2, com uma redução de até 4mm do comprimento original, nenhuma alteração quanto à retenção foi encontrada, em relação ao comprimento original. Mas, com uma redução de 5mm, constatou-se uma significativa diminuição da retenção.

As propriedades retentivas de pinos rosqueados, bi-partidos e cimentados com um cimento resinoso reforçado com titânio (Flexi-flow), foram comparadas à cimentação empregando o cimento fosfato de zinco por Cohen et al.¹⁵ (1992) em dentes unirradiculares tratados endodonticamente, utilizando os pinos Flexi-post números: 00, 0, 1 e 2. Os resultados revelaram que, os pinos de pequeno diâmetro (número 00 e 0) cimentados, tanto com fosfato de zinco como com cimento resinoso, são igualmente retentivos. Considerando os pinos de número 1 e 2, cimentados com o cimento resinoso, ambos apresentaram resultados estatisticamente superiores ao do grupo controle, no qual o cimento fosfato de zinco foi utilizado. Esse aumento estatístico nos pinos de maior diâmetro e cimentados com o cimento resinoso, provavelmente é uma consequência de um melhor embricamento na dentina, originado dos canais mais profundos criados pelas roscas do pino, associado à alta capacidade adesiva do cimento resinoso.

Pinos pré-fabricados com diâmetros de 1.3mm e 1.6mm de três fabricantes, Unity, Filpost e Brasseler foram comparados com o

Flexi-post por Cohen et al.¹²(1992). O experimento foi dividido em três grupos de dez amostras de cada pino. No grupo 1, os pinos Unity de 1,25mm e de 1.5 mm foram cimentados com cimento resinoso. No grupo 2, os pinos Filpost com 1.3mm e 1.6mm foram cimentados com fosfato de zinco e um cimento resinoso. No grupo 3, para a cimentação dos pinos Brasseler de 1.3mm e 1.6mm, foi utilizado o cimento fosfato de zinco. Os diâmetros para os três pinos são aproximadamente iguais ao diâmetro do Flexi-post nº1 que possui 1.4mm e o nº2 de 1.65mm. Utilizando uma máquina de teste universal modificada, verificaram que, para os pinos de 1.3mm de diâmetro, a associação mais retentiva foi o Flexi-post e o fosfato de zinco, seguido do Filpost, associado ao fosfato de zinco, do Filpost cimentado com o cimento resinoso, do Brasseler e fosfato de zinco. O menos retentivo foi o Unity empregando o cimento resinoso. Dos pinos com 1.6mm de diâmetro, do mais para o menos retentivo, seguiu a seguinte ordem: Flexi-post e cimento fosfato de zinco, Filpost e cimento fosfato de zinco, Brasseler e cimento fosfato de zinco, Unity empregando a resina composta e Fil post com resina composta.

Kovarík et al.⁴⁸ (1992) utilizaram os dentes caninos e dois diferentes pinos pré-fabricados, o Flexi-Post e o Para-Post, associados aos seguintes preenchimentos coronários: amálgama, resina composta e ionômero de vidro. O conjunto pino e material restaurador deu origem a diversas combinações, as quais foram preparadas para receber uma coroa total que foi cimentada com cimento fosfato de zinco, cujo limite cervical estendia-se de 0.5 a 1.0 mm apical ao preenchimento. Uma máquina de ensaios para testes de fadiga foi elaborada para reproduzir os movimentos mastigatórios no sentido vertical e horizontal, com sessenta ciclos por minuto e com uma carga de setenta e cinco libras, que permitiram comparar o comportamento dos diferentes materiais de preenchimento. Os resultados indicaram que os dentes que receberam o preenchimento com amálgama forneceram a menor incidência de fratura; sendo assim, os dentes restaurados com esse material forneceram um retentor mais rígido para coroas e prótese fixa. O preenchimento com ionômero de vidro não forneceu condições adequadas para resistir à simulação das forças oclusais. O preenchimento com resina composta revelou resultados intermediários entre os outros dois materiais.

Os pinos pré- fabricados Para-post, Beta-post, Kurer-Anchor, Flexi- post e Radix-Anker foram analisados com o auxílio do estudo da fotoelasticidade, realizados por Rolf et al.⁶⁵ (1992), para verificarem a tensão que esses pinos produziam. Classificaram como tensão mínima quando ocorreram menos de duas nuanças ou ondas de cores e uma tensão moderada quando houve mais de duas ondas de cores. O pino pré- fabricado Kurer-Anchor mostrou a maior quantidade de tensão, geralmente com mais de três ondas de cores. O Radix-Anker mostrou menos de uma nuance na região apical e a tensão foi concentrada ao redor de cada rosca. O Flexi-post mostrou múltiplos padrões de cores no terço apical; contudo, na porção restante, apenas uma faixa de cor, embora a concentração de tensão também tenha sido evidente na região de cada rosca. O sistema de pino pré-fabricado Flexi-post e o Kurer-Anchor foram os mais retentivos. Já o Flexi-post e o Radix-Anker produziram uma quantidade mínima de tensão. Dessa maneira: os sistemas Radix-Anker e Flexi-post proporcionaram a melhor combinação de alta retenção com baixa tensão.

A capacidade retentiva e a distribuição de tensões de um pino pré-fabricado, rosqueado e bipartido, foram avaliadas por Standlee & Caputo⁷⁰ (1992), empregando o estudo da fotoelasticidade. Analisando a intensidade na produção de tensões com uma máquina de teste universal - Instron - foi verificado que o sistema Flexi-post não ofereceu qualquer vantagem sobre os outros pinos de sistema ativo. Quando ocorreu o fechamento da porção apical da fenda do sistema Flexi-post, constatou-se, pela fotoelasticidade, uma assimetria de tensões. O sistema Flexi-post foi mais retentivo que o sistema Parapost, que foi similar ao sistema Radix-post, porém menos retentivo que o sistema Kurer Anchor-post. A utilização de pinos mais curtos gerou tensões mais elevadas do que as obtidas com pinos mais longos.

Uma análise bi-dimensional da tensão empregando a fotoelasticidade foi idealizada por Thorsteinsson et al.⁷⁴ (1992), em quatro pinos pré-fabricados: Vlock, Radix Anchor, Flexi-post e Para-post plus (não rosqueado). As tensões foram registradas durante a inserção do pino e quando submetido a uma carga vertical e

outra oblíqua. Durante a instalação, o pino não rosqueado obteve o melhor comportamento, evidenciando apenas um mínimo de tensão na região apical; contudo, os pinos rosqueados mostraram alguma concentração de tensão ao redor das roscas. Um aumento substancial na tensão foi evidenciado em todos os pinos, quando submetidos à carga vertical, ao serem comparados durante a inserção. A maior diferença foi verificada na região apical, onde os pinos não rosqueados mostraram duas vezes mais tensão do que os pinos rosqueados. Quando submetidos a uma carga inclinada, constatou-se uma elevada concentração do lado compressivo, que foi estatisticamente maior nos pinos rosqueados. Baseado nos resultados encontrados, estabeleceram que os pinos tenderam a concentrar as tensões onde estão em contato com a parede radicular. Os pinos não rosqueados demonstraram, indiscutivelmente, uma elevada tensão apical quando submetidos a todos os testes utilizados.

Os pinos pré-fabricados Parapost, Unity-post e Flexi-post foram utilizados por Chang & Millstein¹⁰ (1993) para analisar a capacidade retentiva quanto às forças de tração e compressão da

parte coronária desses pinos frente à reconstrução coronária com amálgama, resina composta e uma resina composta com reforço em titânio. Os testes de compressão e tração foram obtidos com uma máquina de ensaios universal – Instron - com velocidade média de 0.5mm por minuto. Os resultados obtidos em relação às forças compressivas demonstraram que dependem especificamente do sistema de pino utilizado, sendo que o sistema Flexi-post demonstrou ser o mais resistente às cargas compressivas. A escolha do tipo de material de preenchimento não afetou, de uma maneira significativa, os resultados; porém, a resina composta foi o material que apresentou a maior resistência aos testes executados. As falhas compressivas foram afetadas pela espessura do material que cobriu a cabeça do pino, pois espessuras de 3mm sofreram maiores falhas do que a espessura de 1mm. Com relação às falhas geradas pelas forças de tração, o desenho da cabeça do pino influenciou fortemente essa situação, onde o Flexi-post mostrou possuir a maior capacidade de retenção. Seguindo esse raciocínio, a retenção do amálgama mostrou ser superior às duas resinas compostas testadas. A capacidade de retenção estava mais relacionada ao comprimento da cabeça, já que a

quantidade do material de preenchimento pouco afetou no resultado. Devido ao desenho da cabeça em forma de esferas, o pino Unity-post mostrou ser o mais apropriado para preenchimento com resina composta. A resina composta com reforço de titânio mostrou ser a menos resistente à fratura, sob cargas de tração.

A fadiga cíclica de seis pinos pré-fabricados, Flexi-post, Flexi-anterior, Acess-post, Vlock, Parapost e Cytco, foi testada por Cohen et al.¹¹ (1993) com o auxílio de uma máquina que simula as condições de fadiga clínica. Foi aplicada uma força de 5 libras em cada pino. Os dados foram registrados após as fraturas dos pinos. Naqueles onde a fratura não ocorreu, o teste foi encerrado somente após dois milhões de repetições. As fraturas foram verificadas nos pinos Cytco e com o Vlock. Os pinos Flexi-post, Flexi-anterior, Acess-post e Parapost obtiveram a maior resistência à fadiga cíclica. Esse experimento pode simular a força de mordida e a de tração nos pinos nas situações clínicas.

Cohen et al¹⁶ (1994) utilizaram, para verificar a resistência à fratura, três materiais diferentes: uma resina composta com reforço em titânio (Ti-core), o amálgama (Tytin) e o ionômero de vidro (Ketac-silver) para reconstrução coronária em três tipos de pinos pré-fabricados (Flexi-post, Vlock e Parapost). A resina composta com reforço em titânio obteve os maiores valores em relação à resistência à fratura em todas as amostras, enquanto o cimento ionômero de vidro obteve os menores valores . O pino Flexi-post e o Vlock obtiveram os maiores valores quanto a resistência à fratura, pois ambos possuem cabeças volumosas e com muitos sulcos verticais e horizontais, aparentemente facilitando o embricamento do material utilizado para a reconstrução coronária. Já o Parapost apresentou resultados menores em relação a resistência à fratura.

As propriedades retentivas em três sistemas de pinos pré-fabricados, Flexi-post, Parapost e Brasseler/ Vlock-post, cimentados com fosfato de zinco em dentes extraídos, foram comparadas por Keyf & Sahin⁴⁵ (1994) que utilizaram forças de tração e de cisalhamento em uma máquina de testes universal- Instron - com

velocidade média de 5mm por minuto. Constataram que, entre os pinos estudados nos testes de tração, não houve diferenças na retenção entre os pinos de pequeno diâmetro, mas para os pinos de médio e grande diâmetro houve diferenças significativas, o que foi constatado que, para os pinos de diâmetro médio, o Flexi-post foi aproximadamente duas vezes mais retentivo. Nos testes de força de cisalhamento, aplicada num ângulo de 130^0 em relação ao longo eixo do pino, encontraram que, para os pinos de pequeno diâmetro, estatisticamente, o sistema Flexi-post foi mais retentivo do que os sistemas Parapost e Brasseler/Vlock-post. Devido à capacidade de retenção, o sistema Flexi-post seria indicado para restaurar dentes que sofreram perda excessiva de substrato coronário.

A resistência à torção no sentido horário e anti-horário de sete pinos pré-fabricados, Flexi-post, Flexi-flange, Access-post, Parapost, Dentatus, World-post e Vlock, foi comparada por Cohen et al.¹⁷(1995), quando cimentados com cimento fosfato de zinco ou cimento resinoso reforçado com titânio (Flexiflow). Devido à resistência de 81 “onças por polegada quadrada”, o Flexi-post

cimentado com fosfato de zinco ou cimento resinoso obteve a maior resistência ao torque no sentido horário. No sistema Dentatus, cimentado com fosfato de zinco, foi registrada a menor resistência ao torque, com 17 “onças por polegada quadrada” no sentido horário.

Cohen et al.¹⁸ (1995) estudaram a resistência à fratura e a distribuição da tensão durante a inserção e a cimentação, com auxílio da fotoelasticidade, entre um pino pré-fabricado, rosqueado e bi-partido (Flexi-post) e outro convencional (Parapost), cimentados com fosfato de zinco. Utilizando uma máquina de testes universal, verificaram que o Flexi-post apresentou a maior retenção com 265.9 libras em relação aos 137.7 libras obtidos pelo Parapost. Pela análise da fotoelasticidade, foi observada uma mínima tensão no pino Flexi-post, ao passo que a tensão mais elevada foi encontrada durante a inserção do pino Parapost, associada a uma distribuição assimétrica de tensão e com localização mais evidente na região coronária.

A distribuição da tensão em quatro pinos pré-fabricados, Flexi-post, Flexi-flange, Accesspost e Parapost foi avaliada por Cohen et

al.²⁰ (1996) com o auxílio da fotoelasticidade. A distribuição da tensão foi considerada favorável nos pinos Flexi-post, Flexi-flange e Accesspost, quando submetidos a uma carga vertical de 134 N e outra oblíqua de 98 N. A distribuição da tensão nesses pinos foi uniforme ao longo do comprimento do pino. Contudo, a distribuição da tensão no pino Parapost, sobre uma carga vertical de 134 N, gerou um modelo de tensão assimétrico, com uma concentração de tensão da região apical para a região coronária. Durante a carga oblíqua, foi observada também uma distribuição assimétrica de tensão, concentrada mais na região apical.

A resistência à fratura de quatro materiais utilizados para reconstrução coronária foi comparada por Cohen et al.¹⁹ (1996), utilizando os pinos pré-fabricados Flexi-post, Flexi-flange, Parapost, Accespost e C-post. A resina composta com reforço em titânio (Ti-core), o amálgama (Tytin) e os ionômeros de vidro (Ketac-silver core material e G-C Miracle mix) foram utilizados como materiais para a reconstrução coronária. A velocidade média aplicada para a fratura foi de 0.635cm por minuto numa máquina de testes universal

– MST 810. A maioria das fraturas (79%) ocorreu na reconstrução coronária e apenas 21% foram fraturas dos dentes. Entre todos os pinos estudados, o preenchimento com o amálgama e a resina composta com reforço em titânio receberam os maiores valores de carga para serem fraturados. Quando utilizaram o Parapost associado ao amálgama, verificaram que esse binômio necessitou o maior valor de carga para fraturar o preenchimento, com valores aproximados a 277,3 libras. Para a associação do Flexi-post com a resina composta reforçada com titânio, registraram-se valores de 277,1 libras. A associação do Para-post com o preenchimento com ionômero de vidro obteve os valores mais inferiores quanto a resistência à fratura, próximo a 49,6 libras.

A comparação de três pinos pré-fabricados e rosqueados, Cytec post, Vlock Active post e Flexi-post foi avaliada por Kahn et al.⁴⁴(1996) onde puderam comparar a fadiga desses pinos, após terem sido inseridos em dentes extraídos unirradiculares. Receberam uma reconstrução coronária com amálgama de prata e uma coroa total foi cimentada com cimento fosfato de zinco. Uma máquina de teste

universal- Instron - realizou uma força compressiva e progressivamente ascendente, aplicada num ângulo de 45° em relação ao longo eixo do dente. O ponto de fratura foi determinado pela visualização ou uma falha audível ao som de fratura detectada. Foi constatado que os três sistemas utilizados demonstraram uma evidente retenção, mas que, em conjunto, criaram uma elevada tensão nas raízes dos dentes. Apesar disso, os sistemas que se utilizaram de roscas não contribuíram para provocar qualquer aumento no índice de fratura radicular em dentes tratados endodonticamente, quando comparados aos dentes que não receberam pinos. Entre os sistemas utilizados não houve uma diferença significativa na média de tensão compressiva necessária para a fratura.

Dois sistemas de pinos experimentais Parapost XT-7 e Parapost XT 10 foram comparados ao Flexi-post e ao Parapost padrão por Lepe et al.⁵⁰ (1996), quanto à resistência ao deslocamento. Todos os pinos foram cimentados com cimento fosfato de zinco em dentes unirradiculares e com canais

circunferenciais. Na pesquisa, uma máquina de teste universal-Instron - foi utilizada para os quatro tipos de pinos avaliados. Foi observado que o sistema de pino por ação ativa, o Flexi-post foi estatisticamente o de maior retenção, quando comparado com o sistema Parapost XT, que é considerado como de ação ativo-passiva. Os dois sistemas foram mais retentivos do que o Parapost padrão, que é de ação passiva. Foi demonstrado que um pino de ação ativa de 7mm pode ser mais retentivo do que um pino de ação passiva de 10mm.

A retenção de três pinos pré-fabricados (Flexi-post, Acesspost e Para-post) cimentados com cinco cimentos, o Flexi-flow (cimento resinoso), Fleck (cimento de fosfato de zinco), o Ketac-Cem, o Advance (cimentos de ionômero de vidro) e o Duet (cimento de ionômero de vidro híbrido) foi analisada, empregando-se uma máquina de ensaios universal, por Cohen et al.²¹ (1998), que verificaram que o conjunto de pino Flexi-post associado ao cimento Flexi-flow demonstrou os valores mais elevados quanto à resistência à tração. A média dos valores de retenção do Flexi-post foi maior do

que a dos Accesspost ou Parapost e a média de retenção do Accesspost foi mais elevada do que a do Parapost. O pino Parapost cimentado com o cimento ionômero de vidro híbrido Duet revelou a média retentiva mais baixa. O cimento Flexi-flow obteve os valores de retenção mais elevados entre os cimentos estudados.

2.3 Outros pinos e/ou outro métodos

Alguns trabalhos são considerados como “clássicos” na literatura de pinos pré-fabricados, apesar de utilizarem metodologia diferente da empregada na pesquisa, mas que serviram de base e de parâmetro para nossa pesquisa.

Um dos dispositivos utilizados é a fotoelasticidade. Foi um estudo idealizado por Noonan⁶⁰ (1949), que permitia visualizar as tensões criadas em um dente sob determinada tensão. Baseia-se em uma fotografia que é obtida de uma determinada estrutura que vai ser analisada, sob uma determinada carga, que é embutida num padrão de resina específica para esse método, iluminada por uma luz polarizada. A fotoelasticidade fornece nuances de cores distintas, o que evidencia as diferentes regiões e amplitudes de tensões num mesmo corpo. É um estudo qualitativo da distribuição de tensões de um corpo sob o experimento.

Huang & Ledley⁴¹ (1969) aplicaram vários tipos de forças em um incisivo central superior e verificaram que, sob carga vertical, ocorreu apenas o deslocamento vertical do dente. Sob carga horizontal pura, o ponto de transição entre a compressão e a tração ocorreu mais apicalmente para o lado do deslocamento do dente.

Standlee et al.⁷¹ (1980) avaliaram a distribuição das tensões utilizando o estudo da fotoelasticidade e, também, as propriedades retentivas dos pinos pré-fabricados Radix-Anchor, Kurer-Anchor, Unity-post e de um pino cônico, cimentados com fosfato de zinco. Nos testes de tração realizados com uma máquina de ensaios universal - Instron – constataram que o pino Kurer-Anchor apresentou-se como o mais retentivo dos pinos testados, devido à quantidade de roscas que apresenta em seu desenho, que está associada à capacidade que essas roscas possuem de penetrar na parede do canal radicular. Para se obter um aumento de retenção, necessitou-se um aumento tanto no diâmetro como no comprimento. Para o pino Radix-Anchor, o valor de retenção máxima obtido foi comparável com os valores de retenção mais inferiores registrados

com o pino Kurer-Anchor. Na análise de fotoelasticidade ficou demonstrado que, durante a inserção do pino, ocorrem tensões e os autores⁷¹ sugerem uma técnica clínica para minimizar o dano da rosca na dentina. Portanto, o pino Kurer-Anchor gerou na dentina a maior quantidade de tensão, ao passo que no Radix-Anchor ocorreu uma distribuição mais uniforme da tensão gerada.

O torque ideal utilizado por dentistas para a inserção de pinos pré-fabricados e rosqueados (Radix) foi pesquisado por Deutsch et al.³¹ (1985) que utilizaram um simulador de torque (Lebow Model 1102-200 Torque Transducer). Esse aparelho converte o torque mecânico em um sinal elétrico. Os 31 dentistas utilizados para esse estudo inseriram o pino Radix em blocos de plásticos, previamente preparados com as brocas do conjunto, que subjetivamente pararam a inserção, quando sentiram que todo o pino tinha sido instalado. Constataram que a quantidade média ideal de torque para a colocação do pino foi de 15.55 onças por polegada quadrada e que a quantidade média máxima de torque foi de 35.29.

A fratura radicular e o desenho de pinos pré-fabricados foram pesquisados por Deutsch et al.³⁰ (1985) que utilizaram três sistemas de pinos pré-fabricados com diâmetros aproximados: o Radix nº 2, o Medidenta e o Dentatus, que foram cimentados com cimento fosfato de zinco em dentes cuja parte coronária foi removida, para verificarem a capacidade de fratura desses pinos pré-fabricados em um simulador de torque (Leblow Model 1102-200Torque Transducer) que converte o torque mecânico em um sinal elétrico proporcional. Encontraram que pinos rosqueados cônicos em relação aos paralelos fraturaram as raízes com maior frequência. Os valores médios de fratura, quando se utilizou o sistema Dentatus, foram de 29,53 onças por polegada quadrada, para o Medidenta foi de 35,67 e para o Radix foi de 27,07.

A fratura radicular durante a inserção de pinos pré-fabricados (Radix nº 2, Medidenta e Dentatus) em relação ao tamanho da raiz foi pesquisada em 212 dentes por Deutsch et al.²⁹ (1985). A porção coronária dos dentes foi removida e a raiz coberta com Silastic, para simular o ligamento periodontal e terminando por embutir o conjunto

num bloco de resina. Os resultados indicaram que o tamanho da raiz e o formato do pino são dois fatores importantes que precipitam a fratura radicular durante a inserção do pino. Os pinos rosqueados cônicos (Dentatus) aumentaram a incidência à fratura em vinte vezes. Quando um pino de 1,5 mm de diâmetro foi utilizado, a fratura da raiz aumentou seis vezes para cada milímetro que o diâmetro da junção cimento-esmalte diminuiu.

A resistência à fratura de dentes com tratamento endodôntico foi analisada por Trope et al.⁷⁶ (1985). Utilizaram 64 incisivos superiores que, após o tratamento endodôntico, foram restaurados de oito maneiras diferentes: a) a cavidade de acesso foi restaurada com resina composta; b) a cavidade de acesso recebeu ataque ácido e foi preenchida com resina composta; c) a guta percha foi removida 10mm a partir da junção cimento esmalte. A cavidade de acesso e a parede do canal receberam ataque ácido e foram restauradas com resina composta; d) a guta percha foi removida 10mm a partir da junção cimento esmalte com a broca parapost de 1.25mm de diâmetro e o espaço foi deixado vazio; e) foi realizado o mesmo

procedimento, porém o espaço foi preenchido com resina composta sem ataque ácido; f) o espaço foi obtido da mesma maneira e recebeu o pino parapost cimentado com fosfato de zinco; g) o espaço foi obtido da mesma maneira e recebeu ataque ácido e resina composta; h) o espaço foi preparado de maneira similar aos procedimentos anteriores e recebeu ataque ácido e o pino parapost cimentado com resina composta. A resistência à fratura foi obtida com uma máquina de testes universal – Instron. Os autores constataram que o preparo da raiz para receber um pino metálico enfraquece o dente. A cimentação de um pino com fosfato de zinco não reforça o dente.

Os sistemas de pinos pré-fabricados, Parapost, Parapost com a terminação cônica e o BCH-post e cimentados com fosfato de zinco, foram investigados para conhecer a capacidade retentiva e, com o auxílio da fotoelasticidade, verificar a distribuição das tensões geradas por esses sistemas. Cooney et al.²³ (1986) constataram que os pinos paralelos foram mais retentivos do que os pinos paralelos com terminação apical cônica. Essa terminação contribuiu minimamente para a retenção do pino. O aumento da retenção do

pino foi proporcional ao aumento da profundidade, mas não ao aumento do diâmetro. Sob a simulação de uma carga funcional, o pino pré- fabricado com a terminação apical cônica produziu um efeito de cunha próximo ao ápice. Esse efeito foi mais acentuado para pinos de menor diâmetro e com menor profundidade. A distribuição das tensões de maneira mais uniforme foi observada com pinos paralelos, de maior diâmetro e com maior profundidade .

Duas técnicas de reconstrução com amálgama para restaurar molares tratados endodonticamente foram empregadas por Plasmans et al.⁶² (1986): uma técnica utilizando o pino pré- fabricado Unimetric e a outra, sem pino, apenas com preenchimento, que foram comparadas uma com uma fundição convencional de pino e núcleo e a outra com restauração em amálgama convencional associada a uma retenção auxiliar, quatro pinos de amálgama. A coroa clínica foi removida 2mm acima da junção cimento esmalte. Quanto a resistência à fratura, quando o dente foi submetido a uma carga oblíqua, os resultados mostraram que não se deve remover quantidade exagerada de estrutura dentinária para adaptar um núcleo

metálico fundido. Esse estudo indicou que todas as reconstruções com amálgama e pinos de preenchimento com amálgama são excelentes alternativas para restaurar dentes tratados endodonticamente.

Um modelo de fotoelasticidade foi utilizado por Assif et al.² (1989) para analisar a influência de diferentes tipos de restaurações colocadas sobre um pino pré-fabricado ParaPost (paralelo) e Dentatus (cônico), após o tratamento endodôntico ter sido executado. Cargas oclusais foram exercidas e seu efeito nas estruturas de suporte, examinado. Cargas verticais aplicadas diretamente sobre o pino cilíndrico causaram elevada concentração de tensão na região apical. Com os pinos cônicos, a tensão mostrou-se igual tanto no ápice como na junção esmalte-cimento. Quando esses pinos foram cobertos por uma coroa total com 2mm de margens ao redor do dente e submetidos a uma carga, constataram não existir diferenças entre o formato do pino e a localização da tensão, que com a coroa passou a localizar-se nas margens; portanto, na junção esmalte-cimento. Dessa forma, a coroa total atuaria como equalizador, pois altera a

distribuição das tensões diretamente sobre os pinos, deixando, dessa forma, insignificante a configuração. Os autores são também partidários do conceito que o dente deveria ser restaurado com um material com módulo de elasticidade que se assemelhe ao da raiz do dente e que exerça a mínima tensão de cisalhamento.

Utilizando-se da fotoelasticidade, Hunter et al.⁴²(1989) examinaram, em incisivos centrais superiores, o efeito do preparo do canal radicular para receber pinos em relação à tensão na região cervical e apical. Os dados obtidos registraram que a remoção da estrutura interna, durante o preparo do conduto, é acompanhada pelo aumento proporcional de tensão na área cervical, principalmente no lado da tensão. O alargamento mínimo do canal para um pino de tamanho moderado não enfraquece o dente. Se um alargamento cuidadoso do canal radicular ocorreu, um pino com um diâmetro e comprimento moderados reforçam substancialmente o dente. O comprimento do pino é mais crítico do que o diâmetro na determinação de tensões na região cervical. Pinos curtos e de diâmetro médio ou largo deveriam ser evitados, pois causaram uma

elevada concentração de tensão na região cervical. O reforço com pinos em dentes tratados endodonticamente parece ser desnecessário, desde que tenha um remanescente dentinário adequado.

As capacidades retentivas de três cimentos resinosos com seus respectivos tratamentos dentinários- Boston-post, Unity-post e C & B Metabond- foram utilizados, por Standlee & Caputo⁶⁹ (1992), em dentes anteriores tratados endodonticamente e restaurados com o pino pré-fabricado Para-post. Os resultados indicaram que a cimentação de pinos pré-fabricados com cimentos resinosos, após a remoção do magma dentinário, pode ser um dos sistemas para pinos mais retentivos. O sistema C & B Metabond, com o respectivo tratamento dentinário, foi o mais retentivo. O sistema de cimentação Boston-post obteve valores mais elevados na retenção do que o sistema Unity-post. Esse estudo aprova o conceito que a utilização de cimento resinoso com um pino pré-fabricado de ação passiva pode ter uma capacidade de retenção similar, quando se utiliza pino de ação ativa.

O efeito do material de reconstrução coronária na distribuição das tensões com uma carga vertical e uma outra oblíqua em pinos pré-fabricados (Parapost plus) cimentados com fosfato de zinco foi avaliado por Yaman & Thorsteinsson⁷⁹ (1992), utilizando o estudo da fotoelasticidade. O Parapost plus foi analisado sem reconstrução coronária, com reconstrução em amálgama, com reconstrução em resina composta e com um núcleo metálico fundido convencional. Os resultados verificaram que, tanto as fundições cilíndricas como os pinos pré-fabricados são passivos, durante a instalação, pois demonstraram uma menor tensão ao redor da metade radicular e, principalmente, no terço apical. Com uma carga vertical ou oblíqua, os pinos cilíndricos foram intruídos e criaram uma alta tensão na região apical. Pinos com materiais mais duros diminuem essa intrusão, mas aumentam a tensão na área cervical.

Em 1993, Assif et al.³ examinaram o efeito do desenho do pino, em dentes tratados endodonticamente e restaurados com uma coroa total deixando 2mm de margens sobre estrutura dentária sadia, em relação a resistência à fratura sobre cargas oclusais simuladas. O

desenho do pino não influenciou a resistência à fratura, desde que a restauração seguisse o padrão apresentado. A seleção do pino deveria ser baseada no sistema que preserva a maior quantidade possível de estrutura dentária e possui uma retenção discreta para a restauração do dente. Se a coroa anatômica for suficientemente preservada, a retenção pode ser obtida com uma coroa. Se o complemento da parte coronária for desnecessário, dispensa-se a colocação de um pino.

Utilizando-se dos cimentos fosfato de zinco, policarboxilato, de zinco, ionômero de vidro e um resinoso para realizar a cimentação do pino pré-fabricado Parapost, Chan et al.⁹ (1993) verificaram que os pinos cimentados com os cimentos resinosos apresentaram uma maior dificuldade para serem removidos. Um fato inusitado encontrado foi que todos os cimentos utilizados nos pinos bem adaptados possuíam uma menor capacidade de resistir ao deslocamento em relação aos pinos com uma má adaptação. Dessa maneira, os pinos cimentados com Panavia EX em canais com má adaptação foram os mais retentivos, ao passo que os pinos

cimentados com ionômero de vidro em canais bem adaptados obtiveram os valores mais baixos nos testes de retenção. Entre os pinos com boa adaptação, não houve diferenças quanto à remoção em relação à cimentação com qualquer dos cimentos utilizados.

As filosofias do diâmetro para preparo da raiz que receberá um pino foram revistas por Lloyd & Palik⁵¹ (1993). Um segmento de pesquisadores, os conservadores, preconizam que o diâmetro do preparo deva ser o mais delgado possível. O segundo segmento, os que preconizam as proporções, recomendam que o espaço para o pino na região apical deva ser igual a um terço do remanescente radicular e o terceiro segmento, os preservadores, determinam que deva existir pelo menos um milímetro de remanescente radicular ao redor do espaço que receberá o pino.

As considerações biomecânicas para a restauração de dentes tratados endodonticamente foram analisadas por Assif & Gorfil¹ (1994), que conceituaram que a espessura da parede dentinária de uma raiz circunferencial é crítica e há uma relação direta entre o

diâmetro dessa raiz e a capacidade do dente de resistir a forças laterais e evitar a fratura. A utilização de pinos com aumento do diâmetro e do comprimento para melhorar a retenção radicular comprometem o prognóstico do dente restaurado. Não se justifica mais a instalação de um pino para aumentar a resistência de um dente em relação às cargas oclusais. Dessa maneira, os pinos deveriam ser utilizados apenas com o objetivo de melhorar a retenção da estrutura coronária e, quando não existe outra alternativa, de restauração.

Em 1995, Dionysopoulos et al.³³ estudaram a microestrutura dos pinos pré-fabricados, Parapost, Dentatus, Radix-anker e Anthogyr. Os pinos foram examinados com auxílio da microscopia eletrônica de varredura e com a análise dispersiva de raios X (EDAX). Os resultados mostraram em todos os pinos a presença de partículas inclusas, que pode ser uma importante referência na durabilidade e resistência à corrosão dos pinos.

Devido à pequena distância mesio-distal dos incisivos inferiores tratados endodonticamente, Gluskin et al.³⁷ (1995)

verificaram a resistência à fratura entre pinos pré fabricados serrilhados (Parapost) e pinos metálicos fundidos, caracterizados por um colar de 2 mm na região cervical da raiz (estojado), comparando-os com dentes restaurados apenas com uma resina composta (controle). Todas as variáveis foram cimentadas com fosfato de zinco. Os resultados obtidos de uma máquina de teste universal – Instron- concluíram que as coroas clínicas que não receberam qualquer trabalho protético forneceram a maior resistência à fratura.

A retenção de um pino pré- fabricado, o AD-post, caracterizado por possuir um assentamento passivo, ser paralelo e serrilhado, foi comparada com um núcleo metálico fundido de uma maneira convencional, por Stegaroiu et al⁷². (1996), que verificaram a capacidade de retenção e o modo de cada fratura que cada tipo de pino gerou. Os pinos foram cimentados em dentes anteriores com um cimento resinoso (Panavia EX). Foi também investigado o efeito da termociclagem na retenção de cada grupo. A força necessária para deslocar as restaurações foi determinada por uma máquina de teste universal – Instron - e com o auxílio de um estereomicroscópio.

Clinicamente, os resultados sugeriram que, se um canal necessitou de um preparo extenso no sentido horizontal, um núcleo metálico fundido poderia ser mais retentivo funcionalmente do que um pino pré-fabricado que não se adaptou perfeitamente ao formato do conduto. Uma capacidade de retenção mais baixa foi registrada em pinos pré-fabricados do que em núcleos metálicos fundidos. A termociclagem não influenciou na retenção dos núcleos metálicos fundidos. Os pinos pré-fabricados e as reconstruções com resina submetidas à termociclagem mostraram um significativo valor mais baixo de retenção.

As propriedades mecânicas de pinos endodônticos fabricados em titânio, ouro/platina, prata/estanho, prata e aço inoxidável, foram comparativamente avaliados por Lambjerg-Hansen & Asmussen⁴⁹ (1997) quanto à dureza, limite de elasticidade e resistência à fratura. Os resultados mostraram que as propriedades desses pinos dependeram da largura do pino, que é expressada pelo diâmetro externo. Entre os pinos com diâmetro semelhantes, há uma certa variação em relação aos valores obtidos quanto à dureza, limite de

elasticidade e resistência à fratura, mesmo quando os pinos foram manufaturados com o mesmo material. As variações podem ser explicadas pelo desenho (formato/ superfície) dos pinos, que são freqüentemente e, erroneamente, determinados mais pela quantidade da retenção obtida do que pela estabilidade. Os autores consideraram a importância da biocompatibilidade como um fator primordial de seleção para o tipo de pino a ser empregado. Além disso, acreditaram que a escolha determinante deveria estar baseada, principalmente, na dureza e no limite de elasticidade do pino mais do que em relação à retenção, que seria apenas uma opção secundária .

A resistência à fratura de pré- molares restaurados com pinos fundidos e pré- fabricados com fibra de carbono foi comparada, por Martinez-Insua et al.⁵² (1998), com uma máquina de testes universal – Instron . Constataram que o limiar para fratura de um dente restaurado com núcleo metálico fundido é superior ao apresentado pelo pino de carbono. A fratura do pino de carbono sempre ocorreu antes que acontecesse a fratura da raiz.

Um pino pré- fabricado em óxido de zircônio foi apresentado por Zalkind & Hochman⁸⁰ (1998), com as vantagens de possuir boas propriedades biomecânicas e ser de fácil manipulação. O fator estético, proporcionado por esse tipo de pino, é o principal indicador para sua utilização. A retenção do pino cerâmico é obtida com auxílio de rugosidades mecânicas obtidas pelo jateamento, o que irá melhorar o embridamento com o cimento resinoso.

3 PROPOSIÇÃO

Fundamentado na literatura, a proposição deste trabalho é verificar, pelo Método dos Elementos Finitos, em um pino pré-fabricado em aço inoxidável, rosqueado e com fenda apical, denominado “Flexi-post”, quais as regiões em que estarão concentradas as maiores tensões, sob um carregamento:

- a) vertical;
- b) oblíquo;
- c) horizontal, de lingual para vestibular;
- d) sem carregamento.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Preparo do dente que receberá o pino

Foi selecionado, para esse estudo, um incisivo central superior, recém-extraído por razões periodontais, conservado em soro fisiológico. Para o tratamento endodôntico, foram utilizadas limas do tipo K* e com instrumentação até o número 50. A irrigação foi executada com uma solução de hipoclorito de sódio a 0,5% e a obturação do conduto foi obtida com cones de guta-percha e com o cimento à base de hidróxido de cálcio- Sealer 26*. A posterior remoção da guta-percha foi realizada, inicialmente, com a ponta de um explorador aquecido ao rubro, preservando-se os 4mm de material de obturação (Colman²² 1979; Mattison⁵³ 1982). Com um disco de carborundum, montado em um micromotor e em baixa rotação, a coroa clínica foi seccionada na altura da junção cimento-esmalte. O

*DENTSPLY Indústria e Comércio Ltda

remanescente radicular foi hemi-seccionado longitudinalmente no sentido mésio-distal. O segmento a ser utilizado teve a superfície regularizada com discos de papel com granulações decrescentes. Para obter uma superfície suficientemente polida, o acabamento foi obtido numa politriz^{*}, utilizando-se um disco com grânulos de diamante, com o objetivo de conseguir uma melhor definição, facilitando a obtenção de fotografias com contrastes mais definidos.

4.2 Características do pino

O pino pré-fabricado selecionado foi o Flexi-post número 2 e a sua inserção obedeceu à seqüência de brocas preconizada pelo fabricante. O Flexi-post é um pino fabricado em aço inoxidável que caracteriza-se como um pino paralelo (Cohen et al.¹²⁻⁶, 1992, 1994, Deutsch et al.²⁷⁻³¹, 1985) ou paralelo-cônico (Kahn et al.⁴⁴, 1996), pois apenas a parte apical é cônica (Figura 1b), o que permite um

^{*} STRUERS modelo AD

assentamento com menor risco de fratura radicular (Musikant & Deutsch^{56,58} 1984,1985). Os autores apresentaram, como característica singular, uma fenda (Figura 1a) que inicia-se no terço médio e termina no ápice do pino. Dessa forma, redireciona, de uma forma segura, toda a tensão resultante da inserção e da cimentação para o pino e para a raiz. Os autores enfatizam ainda a presença de roscas auto cortantes e afiadas (Figura 1c) para maximizar a retenção, sem contribuir para a produção de tensão; os restos de dentina oriundas dessa atuação são incorporados ao interior da fenda. O pino também possui um canal de escape (Figura 1d) para o cimento, diminuindo a pressão hidrostática durante a cimentação. O segundo setor do corpo, ou a segunda fileira de rosca (Figura 1e), aumenta o íntimo contato entre o pino e a região em que o canal está mais largo, que é a região cervical, dessa forma reduzindo o braço de alavanca. A cabeça é serrilhada (Figura 1f), o que permite maior retenção para o material de preenchimento que pode ser realizado com resina composta, ionômero de vidro ou amálgama. O comprimento total do pino é de 16.5mm, sendo que a parte do pino que ficará em contato com a luz do canal é de 10.5 mm e possui um diâmetro de 1.65mm.

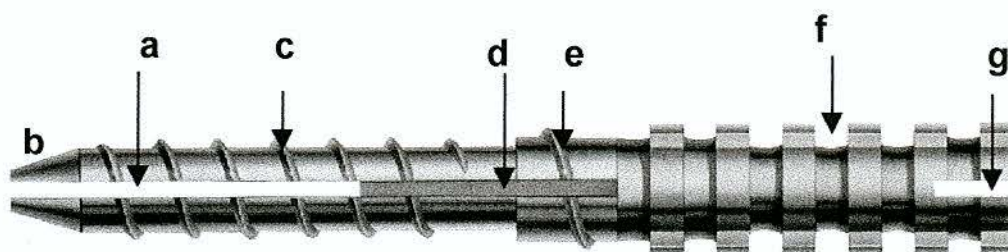


FIGURA 1- Características do pino: a) desenho da fenda, característica ímpar desse tipo de pino; b) ponta cônica; c) rosca afiadas, ; d) canal de escape; e) segundo compartimento, para melhorar a adaptação; f) cabeça serrilhada para retenção do material de preenchimento; g) local para adaptar a chave para rosquear o pino.

4.3 Construção do Modelo dos Elementos Finitos

A construção do *Modelo dos Elementos Finitos* fundamenta-se em várias etapas, divididas em: elaboração do Modelo Geométrico, Condições de Contorno, Carregamento do Objeto e Propriedades dos Materiais.

4.3.1 Modelo geométrico

A parte que exige maior cuidado e elaboração do Modelo dos Elementos Finitos está ligada à construção do Modelo Geométrico, que pode ser interpretada como a reprodução em desenho do objeto a ser analisado. A exatidão do desenho deve ser minuciosa, pois os resultados estarão baseados nos detalhes e no comportamento funcional do objeto.

A construção do Modelo Geométrico foi inicialmente realizada com auxílio de uma fotografia do conjunto dente-pino e, depois, foi feita a construção do desenho em um programa de computador.

4.3.1.1 Obtenção da fotografia

O conjunto foi fotografado com uma máquina Pentax ME Super* com objetiva macro de 50mm. A revelação do filme foi em papel fotográfico, o que permitiu obter uma imagem com um contraste adequado.

Do conjunto pino-raiz e baseado nas medidas do pino Flexi-post número 2, fornecido pelo fabricante, delimitamos o conjunto com três

Do conjunto pino-raiz e baseado nas medidas do pino Flexi-post número 2, fornecido pelo fabricante, delimitamos o conjunto com três marcas limítrofes: a primeira, na parte mais coronária, isto é, no topo do pino (a); a segunda marca, na parte onde termina a estrutura coronária e iniciam-se as roscas (b) e a terceira marca foi registrada pela parte mais apical do pino (c) (Figura 2).

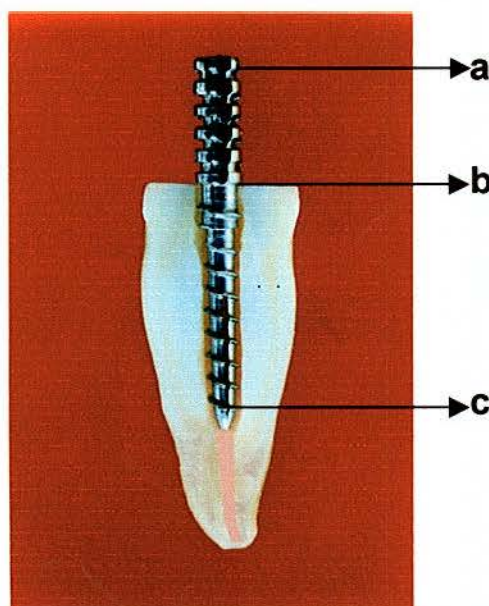


FIGURA 2- Inserção do Flexi-post número 2 na raiz, para formar o conjunto pino-raiz.

4.3.1.2 Obtenção das imagens

A imagem obtida pela fotografia inicial foi copiada com auxílio de um “*scanner*”^{*} de mesa. Com essa fotografia e com o auxílio de um programa de computador(Autocad)^{**} foi permitida a reprodução com detalhes do contorno anatômico da raiz, de tal forma que conseguimos sobrepor a imagem obtida do “*scanner*” da foto ao conjunto pino e raiz. As dimensões mensuradas de um pino isolado foram adequadas com as dimensões limítrofes do conjunto pino/raiz; portanto, enquadrámos os dois desenhos tendo as medidas reais, frente a uma fotografia, que serviu de base para o desenho final. A utilização desse artifício foi a necessidade de possuírmós uma imagem detalhada do perfil de cada rosca em contato com a dentina e de toda a estrutura pino-raiz numa escala de desenho com dimensões próximas ao tamanho real (Figura 3).

^{*}Hewlett Packard ScanJet IICx

^{**} AutoCad Release 14

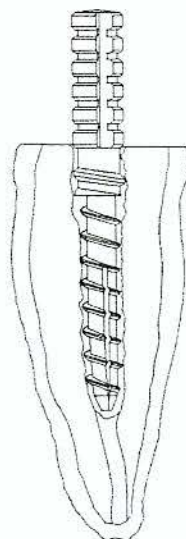


FIGURA 3- Desenho do conjunto pino/raiz obtido pelo programa Autocad R 14.

4.3.1.3 Modelo sólido

Suporte informático

O MSC/NASTRAN(Nasa STRuctural Analyses) é um programa desenvolvido pela MacNeal/Schwendler para auxiliar nos cálculos e análises do comportamento mecânico de diversas estruturas de aviões, satélites e foguetes desenvolvidas pela Nasa.

Com o objetivo de representar os aspectos tridimensionais do carregamento e principalmente da geometria do pino, optou-se pela elaboração de um modelo utilizando elementos sólidos (3D). A análise tridimensional apresenta características mais evidentes em diversos panoramas.

A partir do desenho pino/raiz foram construídos os Modelos de Elementos Finitos do pino e da raiz, utilizando elementos sólidos tetraédricos com quatro nós por elemento.

Esse programa permite que um pino possa ser configurado em diversas posições espaciais, independente da raiz, até para uma melhor avaliação de cada detalhe .

As Figuras 4 e 5 apresentam dois desenhos do Modelo de Elementos Finitos do pino, ilustrando os detalhes das roscas e da fenda.



FIGURA 4 – Demonstra em detalhes a configuração do pino, das roscas e da fenda aberta.

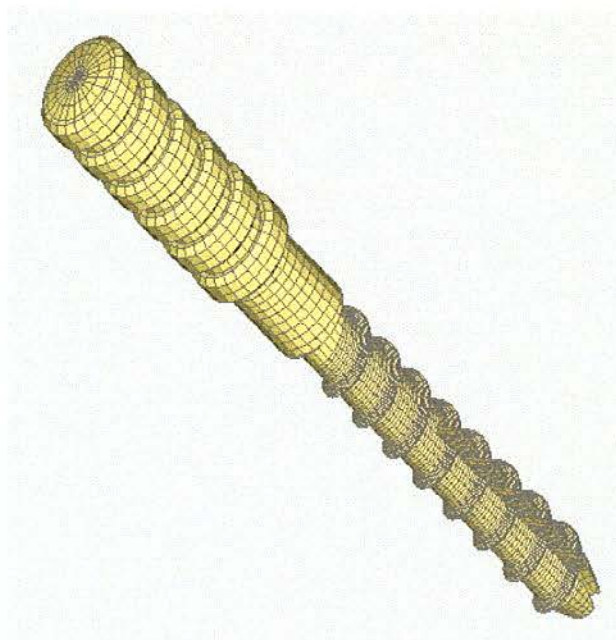


FIGURA 5 – O programa permite rotacionar o pino em diversas posições.

A Figura 6 representa o modelo inicial de Elementos Finitos, definido com a fenda aberta, já com a elaboração das malhas, dos elementos tetraédricos e dos nós. Esse modelo representa a tradução da imagem obtida pelo programa de Autocad 14 .

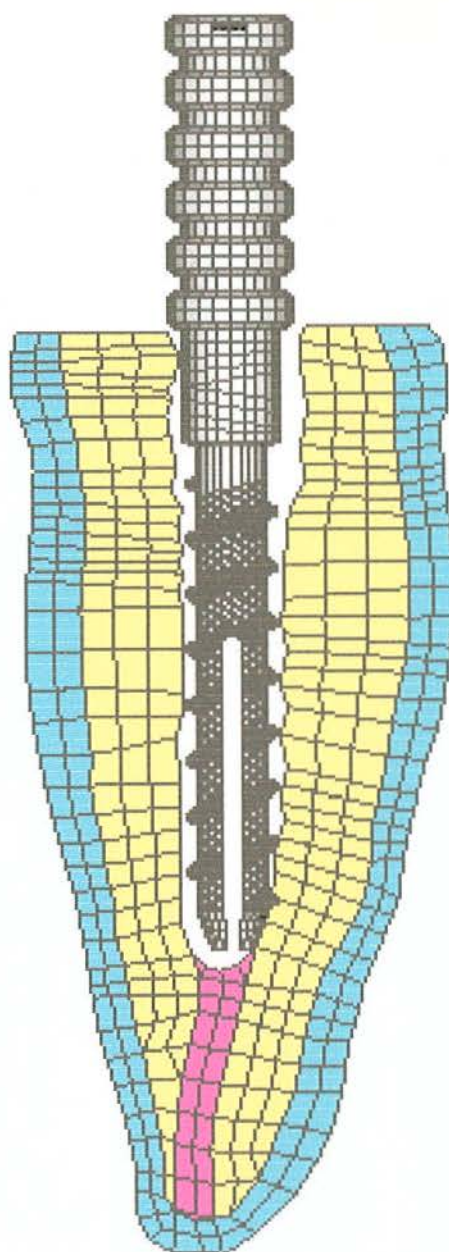


FIGURA 6 – Desenho inicial pino/ raiz com apresentação dos elementos tetraédricos e dos respectivos nós.

A capacidade do mecanismo operacional do programa é vastíssima. Permite realizar a análise de um pino isolado em diversas posições de rotação e translação, como também, permite idealizar a simulação da raiz que estava anteriormente seccionada, o que permite elaborar o desenho final dos elementos finitos (Figuras 7 e 8). Para objetivar de modo satisfatório a pesquisa e atingir o nível de discretização necessária para garantir a precisão desejada, utilizou-se 10.355 nós e 48.954 elementos tetraédricos.



FIGURA 7 – Representa a simulação de uma situação real da raiz com a inserção do pino.

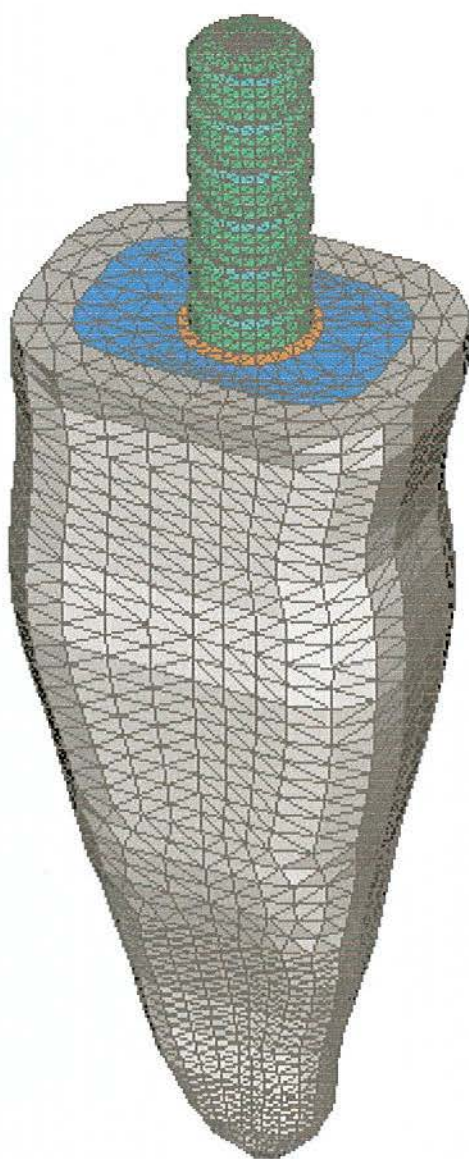


FIGURA 8 – Desenho final com elaboração dos elementos tetraédricos e dos respectivos nós.

4.4 Condições de contorno

São os pontos de fixação para um objeto estar em equilíbrio e restringir, da melhor forma possível, os deslocamentos desse objeto no espaço. São as restrições aos movimentos de translação (T_x , T_y e T_z) e de rotação (R_x , R_y e R_z), que representam os pontos de fixação do dente no maxilar. O conjunto pino/raiz necessita estar limitado a um sistema de referência universal e as condições de contorno, nesse caso, são aplicadas onde a raiz encontra-se fixa, numa situação de normalidade de inserção clínica periodontal. As condições de contorno realizam-se proporcionalmente à quantidade de nós que situam-se na periferia do desenho. Essa condição é variável e depende da simulação desejada (Figura 9).

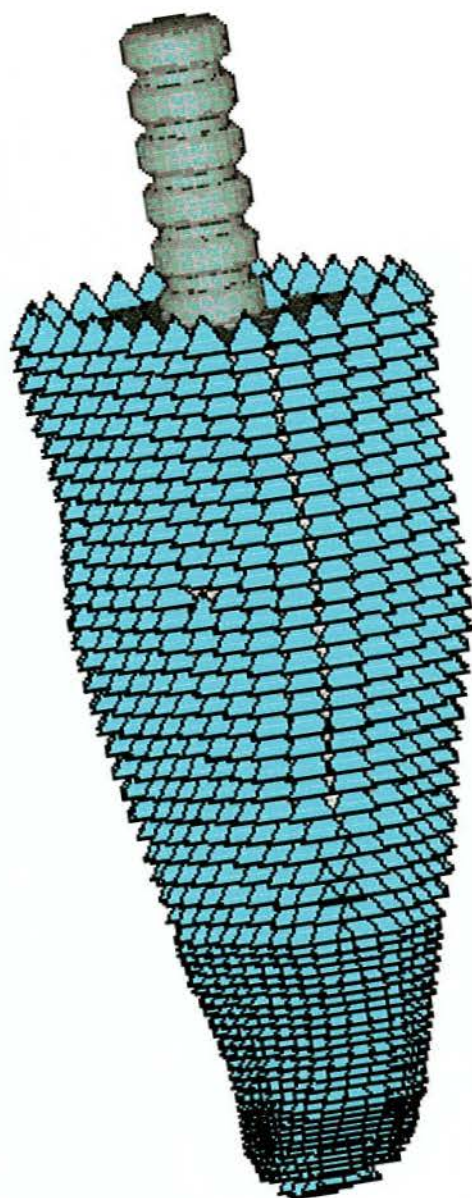


FIGURA 9 – Simulação das condições fisiológicas de contorno.

4.5 Condição de carregamento

São todas as solicitações externas possíveis que podem provocar algum tipo de alteração no estado básico de equilíbrio do conjunto pino/raiz. A alteração pode ser térmica, de tração, de cisalhamento e, neste caso específico, de compressão.

De uma forma geral, as tensões atuantes no sistema pino/raiz podem ser divididas em função de sua origem, o que significa que são tensões geradas durante a instalação e as resultantes dos esforços mastigatórios.

Baseado no princípio de ação e reação, o pino, após instalado, exercerá tensões na raiz equivalentes às tensões necessárias para fechar a fenda na região apical.

Com o objetivo de determinar as tensões de instalação, realizou-se uma simulação adicional onde se impôs o deslocamento induzido na extremidade apical do pino no sentido de fechar a fenda. O processo de fechamento da fenda na região apical do pino foi elaborado em duas etapas estáticas: a primeira, que seria uma simulação da fenda aberta (Figura10) e a segunda, seria da fenda fechada (Figura11). Essas duas simulações foram necessárias para reproduzir uma situação dinâmica,

podendo visualizar o comportamento da fenda nessa região (Figura 12). Dessa maneira, teríamos o real comportamento desse componente do pino e da possível tensão gerada nessa região.

As cargas foram aplicadas sobre a parte mais superior do pino e foram simuladas em três orientações: a F1, que representou a força vertical ao longo eixo do pino (Figuras 13 e 14); a F2, uma força que incidiu num ângulo exato de 45° (Figuras 15 e 16) e a F3, que representou uma força no sentido de lingual para vestibular (Figuras 17 e 18). As cargas aplicadas foram de 100 N (Ho et al.³⁹, 1994; Holmes et al.⁴⁰, 1996).

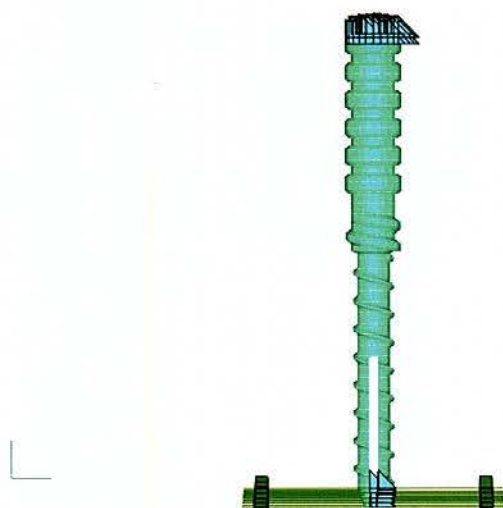


FIGURA 10 – Evidencia a simulação da aplicação de uma carga vertical e de uma horizontal na região apical com o objetivo de promover o fechamento da fenda.

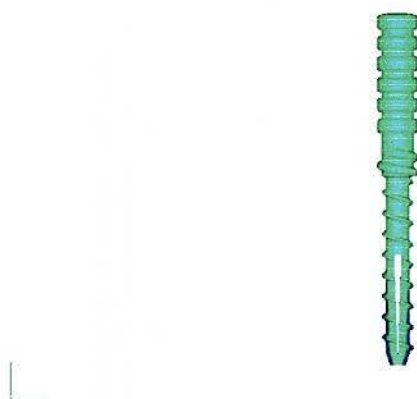


FIGURA 11 - O pino isolado e o fechamento da parte apical e a tensão contrária a esse fechamento, demarcado pela linha escura.

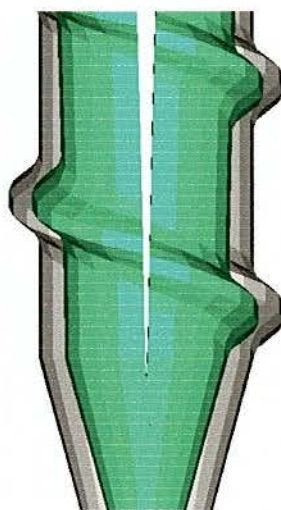


FIGURA 12 - O desenho em detalhe da situação anterior, evidencia em cinza a posição antes do fechamento da fenda, enquanto que em verde mostra o fechamento final da fenda que ocorre na região apical.

4.5.1 Condição de carregamento F1

Uma carga de 100 N aplicada no sentido vertical.

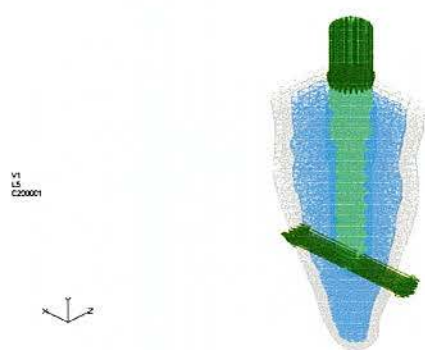


FIGURA13 - Visão geral do carregamento vertical sobre o bordo incisal do pino e a tensão contrária ao fechamento da fenda, na região apical.

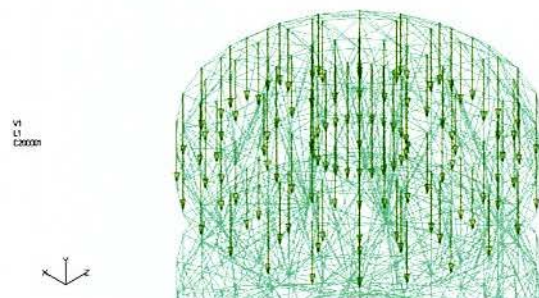


FIGURA 14 - Visão detalhada do carregamento vertical

4.5.2 Condição de carregamento F2

Uma carga de 100 N aplicada a 45^0 em relação ao longo eixo do pino.

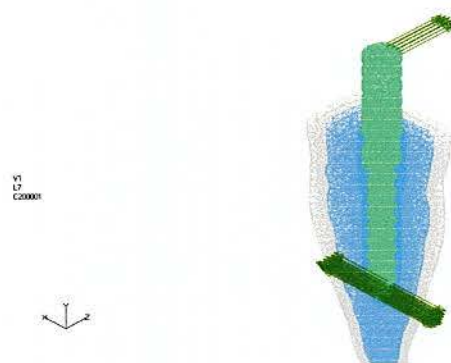


FIGURA 15 - Visão panorâmica do carregamento oblíquo.

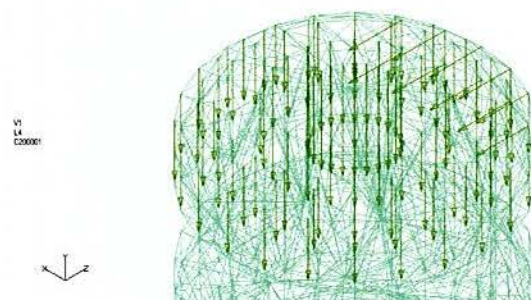


FIGURA 16 - Detalhe do carregamento a 45^0 .

4.5.3 Condição de carregamento F3

Uma carga de 100 N aplicado de lingual para vestibular.

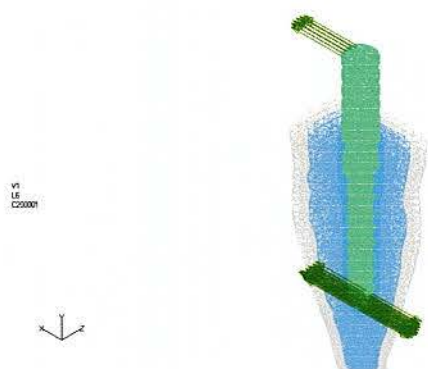


FIGURA 17 - Visão geral do carregamento de lingual para vestibular.

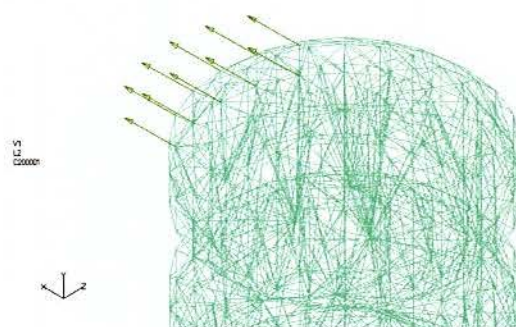


FIGURA 18- Visão detalhada do carregamento de lingual para vestibular.

4.6. Propriedades físicas dos materiais

As informações sobre as propriedades físicas dos materiais utilizados na análise do Modelo dos Elementos Finitos, de interesse para o trabalho, são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1- Apresenta o módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson de cada componente utilizado no estudo (Ko et al.⁴⁷, 1992)

Material	Módulo de elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson
Dentina (d)	18.6	0.31
Cimento (c)	18.6	0.31
Guta-percha (g)	0.00069	0.45
Pino de aço (p)	200	0.33
Resina composta (r)	8,3	0.28

Esses valores foram empregados em cada componente que caracteriza o conjunto pino/raiz, para que o programa reconheça e obtenha a análise do comportamento dos materiais (Figura 19).

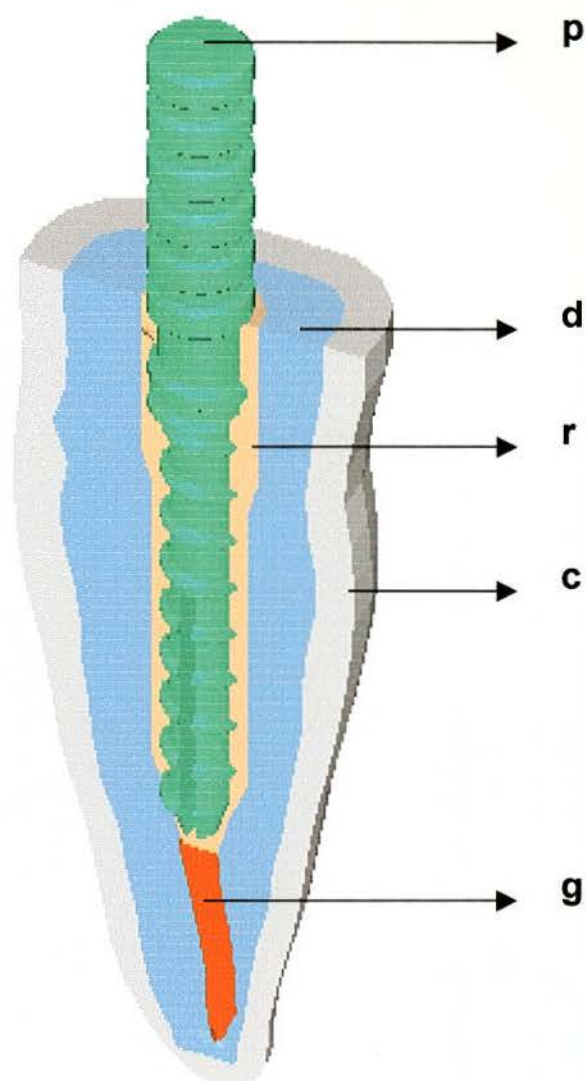


FIGURA 19 – Caracteriza os locais onde foram empregados os valores para o módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson.

As tensões geradas foram analisadas de uma maneira simplificada, porém objetiva, baseada no *critério de escoamento*, também denominado *deformação plástica excessiva* ou *Critério de*

Máxima Energia de Distorção, conhecido principalmente como *Critério de Von Mises*. Para Dieter³² (1981), a maneira simplificada dessa análise baseia-se na não preocupação da direção da tensão ou se essa tensão é de compressão ou de tração; porém, os resultados são obtidos de uma média quadrática dos pontos analisados e que é, aproximadamente, a maior tensão ao redor de um ponto. A energia de distorção está relacionada às mudanças de volume nesse material. É um critério extremamente eficiente para se possuir uma visão inicial das tensões.

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos das tensões geradas do pino pré-fabricado Flexi-post na raiz de um incisivo central, pelo Método dos Elementos Finitos, foram divididos conforme o tipo de carregamento empregado, como também os locais de tensão mais elevada, o que ocorreu na região cervical e apical do pino. Para tornar mais elucidativo os resultados, além da imagem panorâmica da região, foi obtida uma imagem mais detalhada, como também um perfil sagital da figura.

5.1 Carregamento vertical

A imagem do pino que foi submetido a um carregamento vertical demonstrou, com auxílio do Critério da Máxima Energia de Distorção, que os locais em que ocorreram as concentrações de tensões mais elevadas foram na região cervical (Figuras 20-22), com graduação de 9.515 N, como também na região apical com uma concentração de tensão com uma graduação de 58.69 N, o que demonstrou a tensão contrária à de fechamento da fenda (Figuras 23 e 24). No local em que a rosca está em contato com a dentina, ocorreu um grau de concentração de tensão inferior em relação aos anteriores citados, porém evidente.

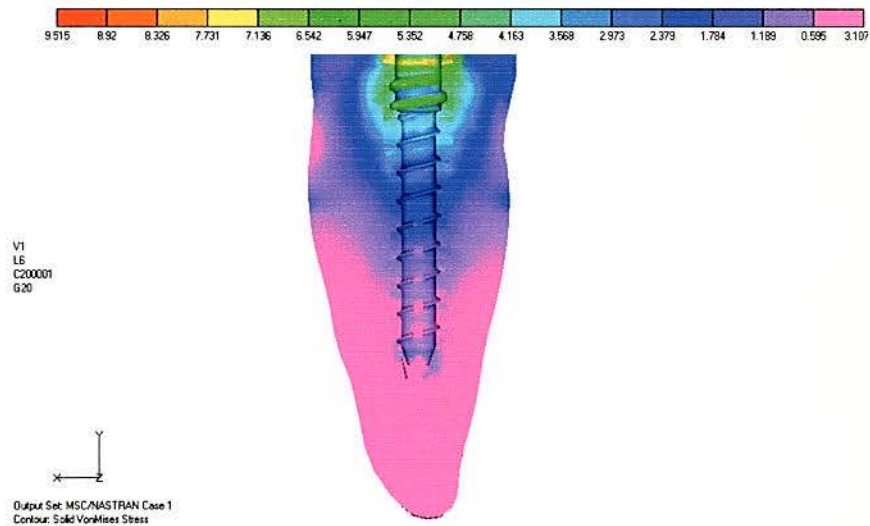


FIGURA 20- Verifica-se que a maior tensão ocorreu na parte cervical do pino com um limite máximo de 9.515 N, e que ao redor das roscas fica evidente a tensão gerada.

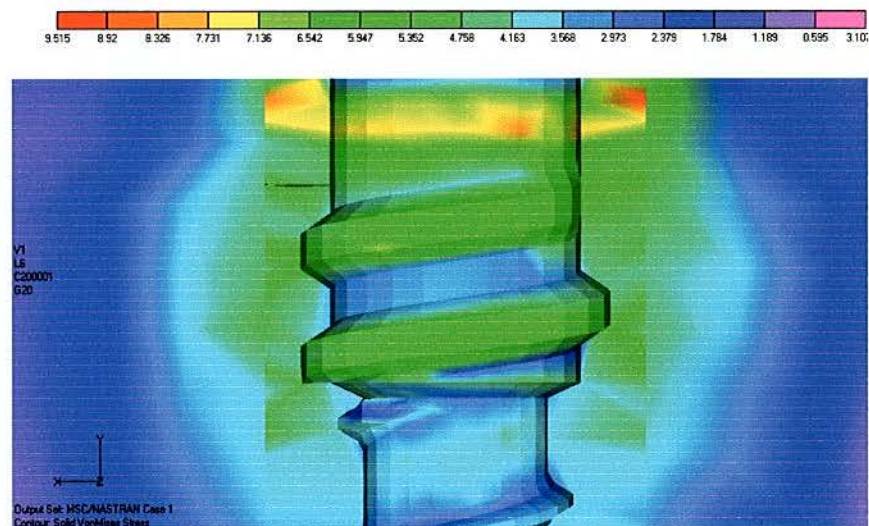


FIGURA 21 - Visualização detalhada da tensão gerada na região cervical.

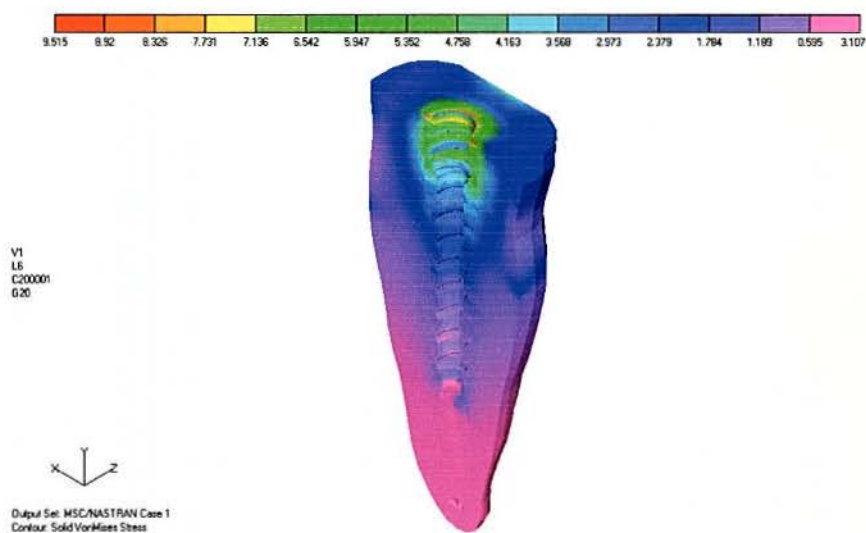


FIGURA 22- Secção sagital, identificando a região com maior tensão cervical.

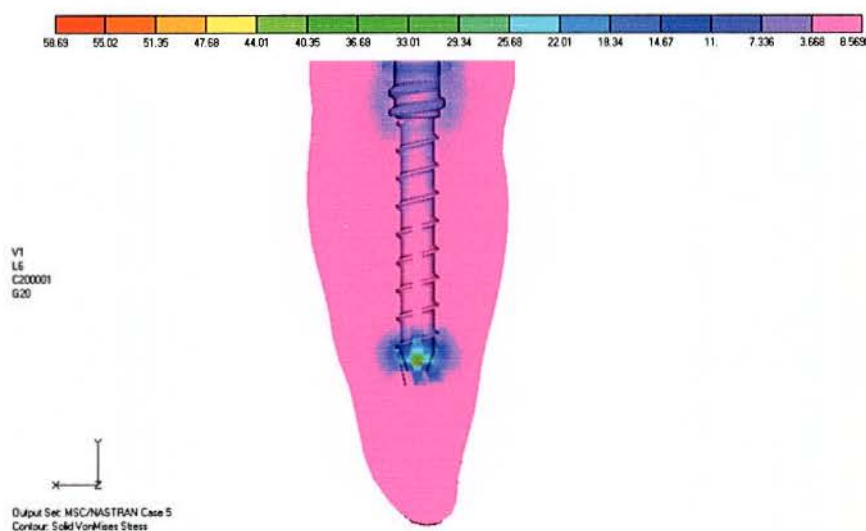


FIGURA 23- Sob carregamento vertical, evidencia-se claramente a tensão na região apical do pino .

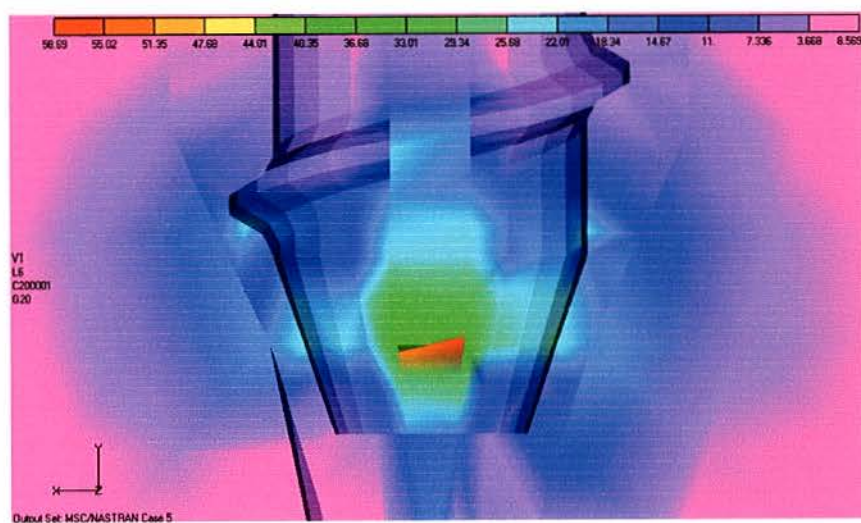


FIGURA 24 – Sob carregamento vertical, demonstra- se a tensão interna decorrente do fechamento da parte apical do pino.

5.2 Carregamento oblíquo

No pino submetido a um carregamento oblíquo, num ângulo de 45° , foi verificado, com auxílio do Critério da Máxima Energia de Distorção, que os locais de tensão mais elevada foram na região cervical e na região apical. Deve ser salientado que a graduação de tensão aumentou para 109 N na região cervical (Figuras 25-7) e para 68.11 N na região apical (Figuras 28 e 29).

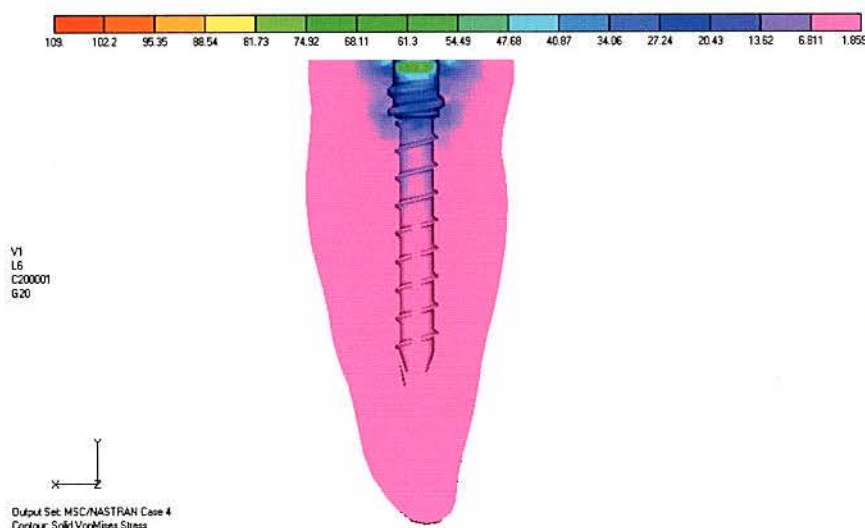


FIGURA 25- Tensão gerada ficou ligeiramente superior na região cervical, ficando por volta de 109N.

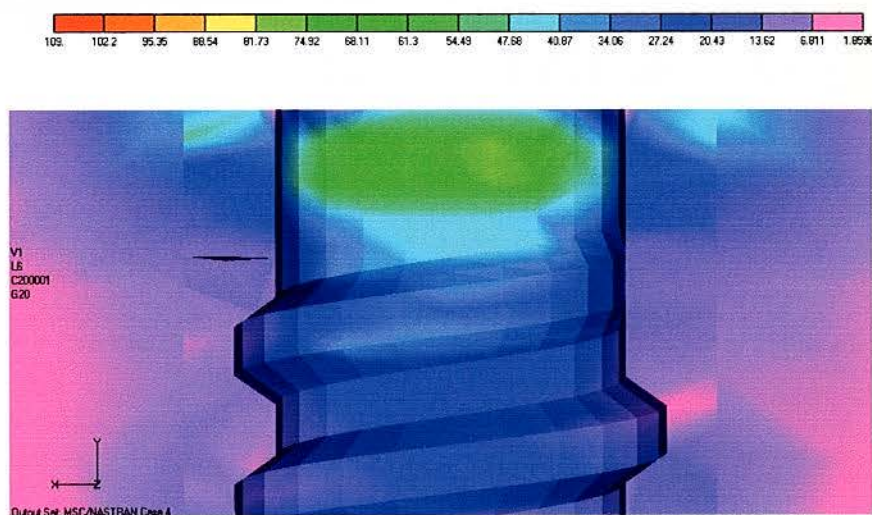


FIGURA 26 – Sob carregamento oblíquo, detalhe da tensão na área cervical.

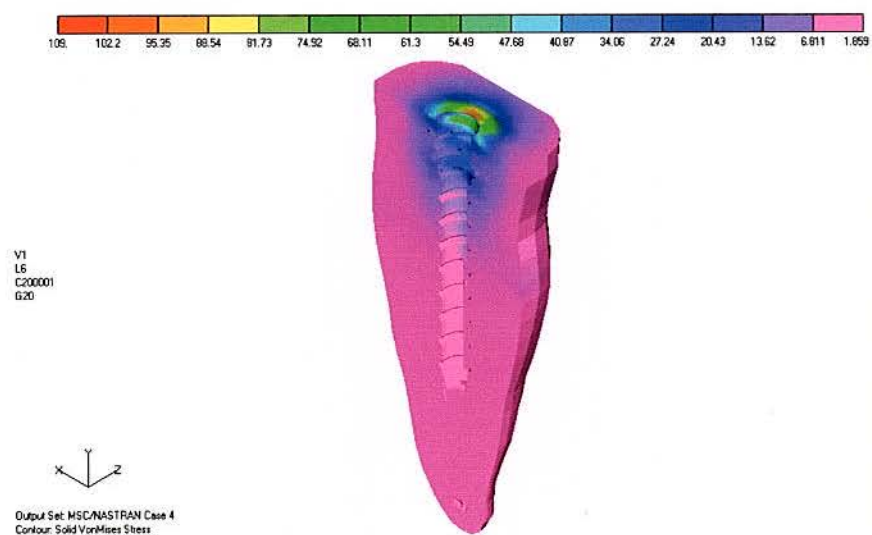


FIGURA 27 – Sob carregamento oblíquo, constata-se no plano sagital a concentração de tensão na área cervical.

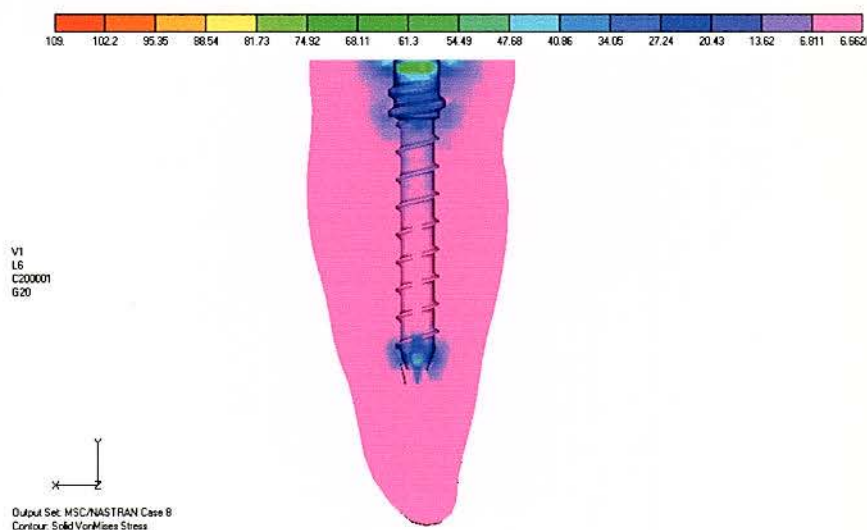


FIGURA 28 – Sob carregamento oblíquo, na região apical observa-se uma concentração de tensão inferior na região cervical.

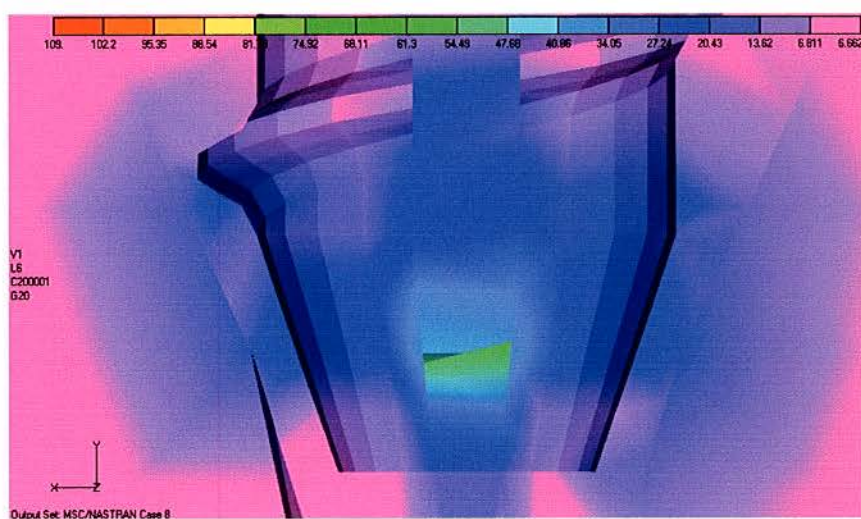


FIGURA 29 - Sob carregamento oblíquo, detalhe da tensão moderada na região de fechamento apical próximo a 68.11 N.

5.3 Carregamento horizontal (de lingual para vestibular)

Dos carregamentos realizados anteriormente, esse foi o que gerou a concentração de tensões mais elevada tanto na região cervical com 163.4 N (Figuras 30-32), como também na região apical com 71.5 N (Figuras 33 e 34).

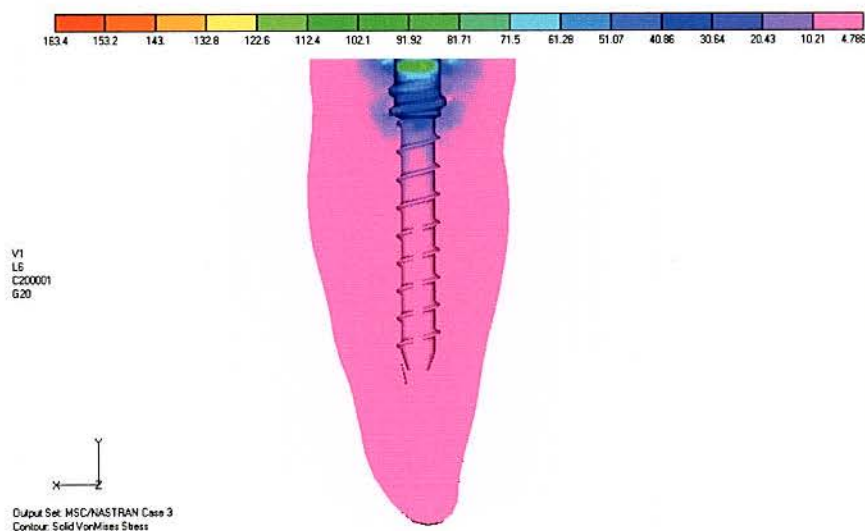


FIGURA 30 – Verifica-se concentração de tensão na área cervical .

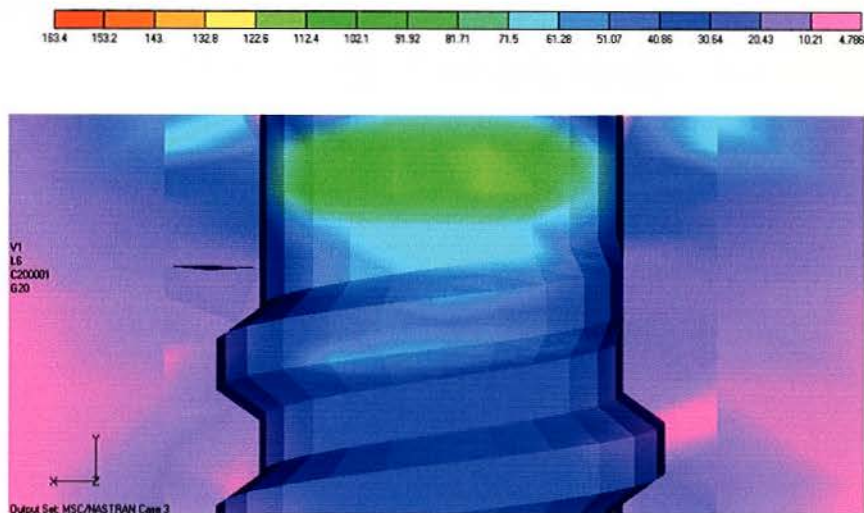


FIGURA 31 – Sob carregamento horizontal, detalhe da tensão na área cervical .

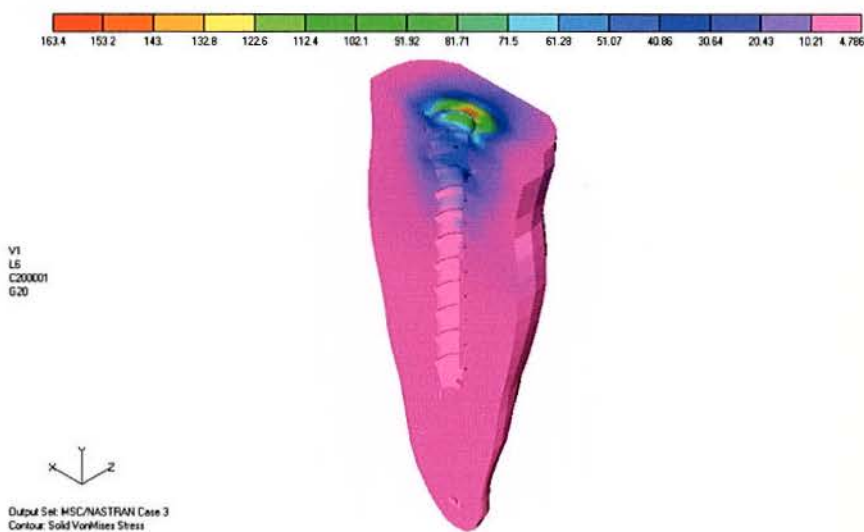


FIGURA 32 - Sob carregamento horizontal, no plano sagital, presencia- se a concentração da tensão .

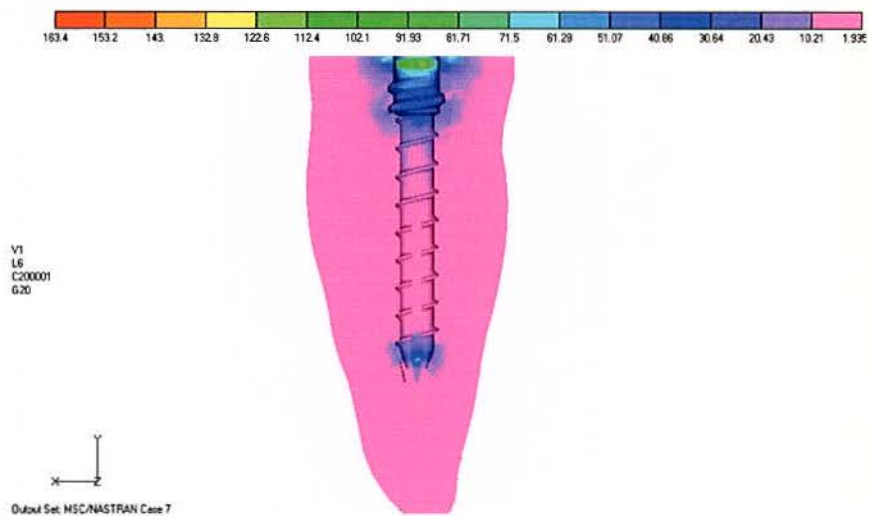


FIGURA 33 - Sob carregamento horizontal, a concentração na região apical é menor do que na região cervical.

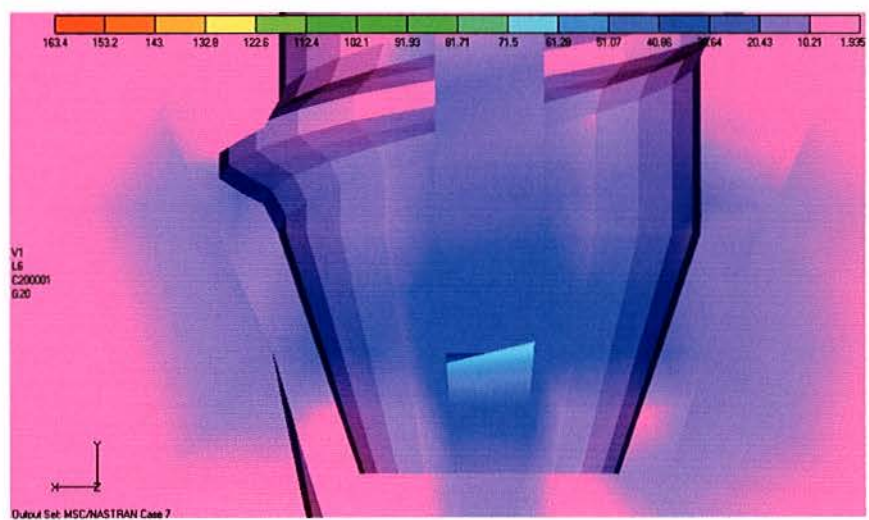


FIGURA 34 – Sob carregamento horizontal, a tensão na região apical situa-se em 71.5 N.

5.4 Sem carregamento

Verifica-se que, mesmo quando o pino não está sendo submetido a nenhum tipo de carregamento, existe, na região apical, uma concentração de tensão que se opõe ao fechamento da fenda com uma concentração de tensão de 58.6 N (Figuras 35- 37).

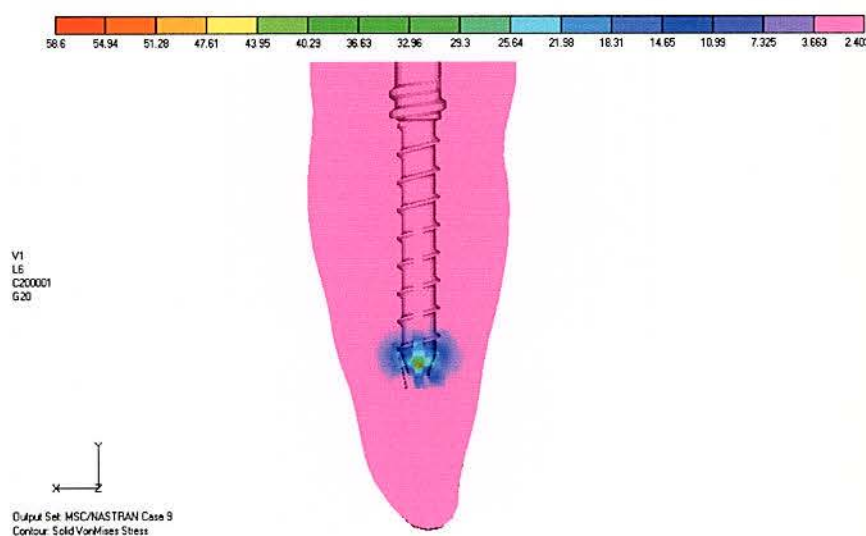


FIGURA 35 - Concentração de tensão na região apical sem qualquer carregamento.

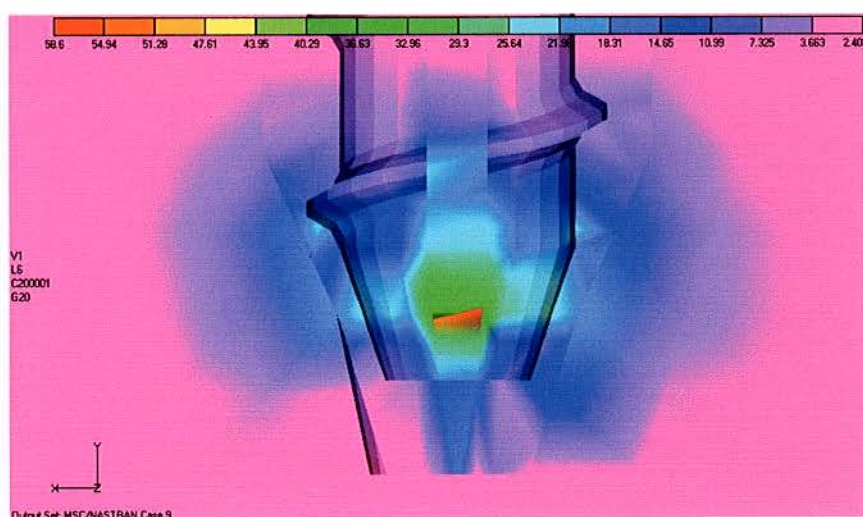


FIGURA 36 – Detalhe da concentração de tensão contrária ao fechamento da fenda.

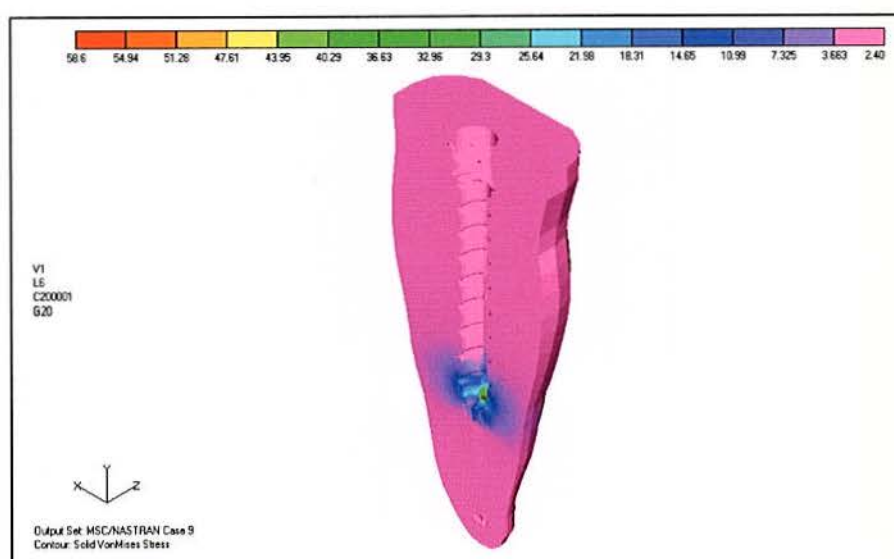


FIGURA 37 – Sem carregamento, no plano sagital, constata-se tensão na região apical.

6 DISCUSSÃO

A mecânica dos pinos pré-fabricados está sendo estudada há anos e um método de estudo que tem sido bastante empregado é a fotoelasticidade. Foi um estudo idealizado por Noonan⁶⁰ (1949), que permitiu visualizar as tensões geradas em um dente sob tensão. Quando um corpo é submetido a determinada carga, com o emprego da fotoelasticidade, pode-se verificar os locais em que ocorrem as tensões mais elevadas, por meio de nuanças e de concentrações de cores, o que significa que um específico local de um mesmo objeto possui um comportamento diferente e que depende da orientação da carga aplicada. É um estudo qualitativo da distribuição das tensões de um corpo, pois as concentrações das cores não são expressas em valores numéricos. Na literatura, a distribuição da tensão gerada em pinos pré-fabricados está associada ao estudo da fotoelasticidade, da mesma maneira que o estudo da capacidade retentiva está relacionado com a máquina de ensaios universal – Instron. São

binômios clássicos e sempre presentes na maioria das pesquisas avaliadas.

Em um trabalho pioneiro, cujos resultados serviram de base para comparações para outras pesquisas realizadas posteriormente, Standlee et al.⁷¹ (1980) utilizaram o estudo da fotoelasticidade onde puderam mostrar a distribuição da tensão gerada em cada rosca do pino pré-fabricado Radix. Nos testes de tração, verificaram que um outro pino pré-fabricado, o Kurer, resultou numa capacidade retentiva ao redor de 110 kg, mostrando possuir uma capacidade retentiva superior aos resultados obtidos pelo pino Radix. A razão do resultado obtido deve-se à quantidade superior de roscas inerentes ao pino Kurer. Posteriormente, Musikant & Deutsch⁵⁶ (1984) reproduziram o trabalho de Standlee et al.⁷¹ (1980) e constataram que a capacidade retentiva do pino pré-fabricado Flexipost foi de aproximadamente 115 kg, portanto superior ao do pino Kurer, o que significou que esse tipo de pino apresentado foi considerado como sendo o mais retentivo existente no mercado. Acredita-se que uma diferença de 5kg na capacidade retentiva de um pino não se caracterize como sendo uma discrepância realmente significativa.

Além disso, empregando a análise da fotoelasticidade, Musikant & Deutsch⁵⁶ (1984) evidenciaram a baixa quantidade de tensão gerada pelo pino Flexi-post, tanto durante a inserção como também sob função, quando comparado ao pino Kurer e o Radix, que exibiram, nesses estudos, uma variedade e uma concentração de matizes de cores bem maiores, significando uma tensão mais elevada. Apesar dos idealizadores considerarem o pino Flexi-post como sendo um pino paralelo, mas que possui como característica uma ponta cônica, Kahn et al.⁴⁴ (1996) classificaram-no como sendo um pino paralelo-cônico. Acredita-se que essa designação represente a configuração mais precisa desse pino.

Uma das características principais do pino Flexi-post é a mínima tensão gerada na região apical e uma distribuição uniforme de tensão ao longo do pino (Musikant & Deutsch⁵⁶⁻⁵⁹, Deutsch et al.²⁶⁻³¹, 1985, 1986, Cohen et al.¹¹⁻²¹, 1992, 1995 e 1998). Contudo, Standlee & Caputo⁷⁰ (1992) verificaram, utilizando a mesma metodologia; empregando a fotoelasticidade, que o pino Flexi-post não ofereceu qualquer vantagem sobre outros sistemas de pinos e, quando realizaram uma análise da região apical, local onde ocorreu o fechamento da fenda, constataram que esse movimento gerou

uma assimetria de tensões. E nos testes de resistência à tração, os resultados obtidos com o Flexi-post (aproximadamente 65 kg) não são tão significantes quanto os dos obtidos com o pino Kurer (100 kg). Constata-se que são reproduções de uma mesma pesquisa, mas que obtiveram resultados conflitantes. Uma dúvida interessante fica presente, pois sendo trabalhos que empregaram a mesma metodologia, quais desses trabalhos possuem os valores mais reais ou mais confiáveis ?

Burns et al.⁶(1990), Rolf et al.⁶⁵ (1992) verificaram, utilizando o estudo da fotoelasticidade, que o pino Flexi-post produziu um modelo assimétrico de tensão na raiz com uma concentração de tensão em cada rosca e na região cervical. Thorsteinsson et al.⁷⁴ (1992) constataram também, pelo emprego da fotoelasticidade, que os pinos não rosqueados (Parapost) produziram a menor tensão no ápice durante a inserção, quando comparados aos rosqueados (Flexi-post), como também a concentração de tensão ocorreu onde os pinos estão em contato com a parede radicular. Felton et al.³⁶(1991), Kovarik et al.⁴⁸(1992) verificaram que as roscas do pino Flexi-post geraram uma tensão adicional durante a inserção. Cooney et al.²³ (1996) verificaram que um pino pré- fabricado de ponta

cônica, sob uma carga funcional, produziu uma tensão em forma de cunha no ápice.

Verifica-se que, em um segmento de pesquisa encontram-se os pesquisadores, idealizadores e também os fabricantes do pino Flexi-post e que, de uma forma instigante, sempre estão evidenciando as qualidades do pino. No segmento oposto, alguns pesquisadores isolados e sem vínculo comercial mostraram, utilizando-se de uma análise qualitativa obtida com o uso da fotoelasticidade, que esse tipo de pino forneceu uma distribuição de tensão diferente da apresentada pelos idealizadores.

A dúvida geratriz dessa situação, é que a reprodução de uma mesma pesquisa obteve interpretações antagônicas, tanto na capacidade retentiva dos pinos, como na tensão induzida sobre a raiz. Como acredita-se que a tensão criada sobre uma raiz seja primordial para a longevidade de um trabalho intra- radicular, procurou-se uma outra metodologia de trabalho que foi evidenciada com a utilização do Método dos Elementos Finitos, para que se pudesse verificar tanto quantitativamente como qualitativamente as tensões geradas por essa configuração de pino.

A interpretação da distribuição das tensões internas teve um grande desenvolvimento com a introdução, por Farah & Craig³⁴ (1974), do Método dos Elementos Finitos, cuja análise das tensões forneceu resultados tanto qualitativos como quantitativos. Verifica-se na literatura, que os pinos metálicos de superfície lisa foram analisados com o emprego do método do Elemento Finito por alguns pesquisadores- Cailleteau et al.⁷ (1992), Ko et al.⁴⁷ (1992), Mori⁵⁵ (1994), Holmes et al.⁴⁰ (1996)- porém, não se encontra estudo algum com pinos pré-fabricados, seja com superfície serrilhada ou rosqueada, que pudesse servir de orientação para o nosso trabalho.

A carga de 1N foi empregada por Davy et al.²⁵ (1981), Reinhardt et al.⁶⁴ (1983), Pao et al.⁶¹ (1987), Ko et al.⁴⁸ (1992) e Cailleteau et al.⁷ (1992) nos respectivos estudos, porém Ho et al.³⁹ (1994), Holmes et al.⁴⁰ (1996) utilizaram uma carga de 100N, valor também utilizado em nossa pesquisa. O primeiro motivo para tal valor deve-se ao tipo de análise que foi realizada - tri-dimensional - e o segundo motivo é a quantidade média de força exercida clinicamente nesse grupo de dentes sob função fisiológica.

Como característica ímpar do nosso trabalho em relação aos outros apresentados na literatura, simulamos três componentes de cargas, vertical, horizontal e oblíqua, associando-o ainda a uma situação com ausência de carregamento. De forma didática, pode-se verificar, as várias secções do pino e as tensões resultantes das diferentes orientações das cargas aplicadas. Além disso, pode-se evidenciar o segmento cervical e apical do pino, que são áreas críticas para o recebimento de tensões. Ao redor de cada rosca é possível avaliar um grau de tensão, porém menos evidente.

Dos resultados obtidos, pode-se verificar que, em todas as simulações de carregamento, constatou-se uma tensão na região apical, inclusive na simulação sem carregamento. Esse fato pode ser justificado pela ação contrária ao fechamento da fenda. Essa tendência foi verificada pelos valores semelhantes obtidos nas duas situações: 58.69N. No carregamento oblíquo e horizontal ficaram registrados os valores mais elevados (68.11 N e 71.5 N, respectivamente) . Ficou evidente que, na região cervical, ocorreu os valores mais significativos de tensão, com exceção sob carregamento vertical, o que pode ser explicado pela dissipação da tensão de carregamento. O que deve ser salientado é que, mesmo

com o segundo compartimento do pino Flexi-post, a tensão nessa região continua sendo elevada.

Os resultados obtidos por essa análise corroboram com os trabalhos de fotoelasticidade apresentados por Standlee et al.⁷¹ (1980), Burns et al.⁶ (1990), Felton et al.³⁶ (1991), Rolf et al.⁶⁵ (1992), Kovarick et al.⁴⁸ (1992), Standlee & Caputo⁷⁰ (1992), cujos resultados mostraram uma distribuição assimétrica ao longo do pino, bem como a parte cervical do pino como sendo a região de maior concentração de tensões e que a fenda não diminuiu a quantidade da tensão gerada. O pino Flexi-post apresenta uma característica autorosqueante e Deutsch et al. (1985) mostraram que existe uma tendência das roscas serem introduzidas na dentina, ressaltando essa característica como fator positivo na capacidade retentiva. Acredita-se sem celeuma alguma nessa característica, porém existe uma relação direta com a tensão, e é evidente que a tensão desenvolvida é maior quando comparada com a de um pino de superfície lisa (Standlee et al.⁷¹, 1980).

Concordamos, explicitamente, com Corrêa & Matson²⁴ (1977), Kitoh et al.⁴⁶ (1977), Carvalho⁸ (1979) que acreditam na capacidade superior do Método dos Elementos Finitos em relação à

Fotoelasticidade, como sendo um método exato para verificar as tensões geradas sobre o dente ou sobre o material restaurador. Da mesma forma, Holmes et al.⁴⁰ (1996) consideram como a maior vantagem do Método dos Elementos Finitos a capacidade de resolver problemas biomecânicos complexos de uma forma precisa, para os quais outros métodos tornam-se muito difíceis.

Novos estudos com o Método dos Elementos Finitos já estão sendo edificados para que se verifique comparativamente o grau e a localização das tensões geradas em diferentes tipos de configurações de pinos pré- fabricados (serrilhados ou lisos, de fibra de carbono ou cerâmico) e compará-los com o pino Flexi-post. Com a mesma filosofia de pesquisa, sugere-se analisar a simulação de uma raiz restaurada com o pino Flexi-post e com uma coroa total, e se haverá alteração na distribuição das tensões sobre a raiz.

O emprego do Método dos Elementos Finitos está se tornando cada vez mais habitual, para a análise das tensões e das variações térmicas de um material, nos diversos segmentos da odontologia e, portanto, uma ferramenta imprescindível para a obtenção de resultados com maior grau de confiabilidade e precisão.

7 CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a) sob o carregamento vertical, verificamos uma tensão na região cervical da raiz. Na região apical, ficou demonstrada a tensão mais elevada, decorrente do fechamento da fenda. De uma maneira menos evidente, porém presente, a tensão ao redor de cada rosca;
- b) sob carregamento oblíquo, houve um aumento da tensão tanto na região cervical como na apical; a tensão na região da rosca também está presente, porém reduzida;
- c) sob carregamento horizontal de lingual para vestibular, ocorreu a tensão mais elevada tanto na região cervical como apical em relação aos dois carregamentos anteriores;

- d) mesmo sem qualquer carregamento verificamos uma tensão na região apical, interpretada como a tendência contrária ao fechamento da fenda.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS*

- 1 ASSIF, D., GORFIL, C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *J. Prosthet. Dent.*, v.71, n.6, p.565-7, June 1994.
- 2 ASSIF, D., et al. Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative technique. *J. Prosthet. Dent.*, v.61, n.5, p.535-43, May 1989.
- 3 ASSIF, D., et al. Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns. *J. Prosthet. Dent.*, v.69, n.1, p.36- 40, Jan. 1993.

*Baseado em:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro. *Referências bibliográficas NBR 6023*. Rio de Janeiro, 1989. 19p.

- 4 BROWN, J. D., MITCHEM, J. C. Retentive properties of dowel post systems. *Oper. Dent.*, v. 12, n.1, 15-9, 1987.
- 5 BURGESS, J. O, SUMMITT, J.B., ROBBINS, J.W. The resistance to tensile, compression, and torsional forces provided by four post systems. *J. Prosthet. Dent.*, v.68, n.6, p.899-903, Dec. 1992.
- 6 BURNS, D.A., et al.. Stress distribution surrounding endodontic posts. *J. Prosthet. Dent.*, v.64, n.4, p.412-8, Oct. 1990.
- 7 CAILLETEAU, J.G., RIEGER, M.R., AKIN J.E. A comparison of intracanal stresses in a post-restored tooth utilizing the finite element method. *J. Endod.*, v.18, n.11, p.540-4, Nov. 1992.
- 8 CARVALHO, R.C.R. *Contribuição para o estudo das tensões que ocorrem em dentes restaurados com amálgama de prata (classe I), sob ação de uma força estática e concentrada, aplicada em diversas posições. Uso do método dos elementos*

finitos. São Paulo, 1979. 91p. Dissertação (Mestrado em Clínicas Odontológicas)- Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo.

- 9 CHAN, F. W., HARCOURT, J. K., BROCKHURST, P.J. The effect of post adaptation in the root canal on retention of posts cemented with various cements. *Aust. Dent. J.*, v.38, n.1, p.39-45, Jan. 1993.
- 10 CHANG, W.C., MILLSTEIN, P.I. Effect of design of prefabricated post heads on core materials. *J. Prosthet. Dent.*, v.69, n.5, p.475-82, May 1993.
- 11 COHEN, B. I., DEUTSCH, A. S. MUSIKANT, B.L. Cyclic fatigue testing of six endodontic post systems. *J. Prosthodont.*, v.2, n.1, p. 28-32, Mar. 1993.

- 12 COHEN, B. I., MUSIKANT, B.L., DEUTSCH, A.S. Comparison of retentive properties of four post systems. *J. Prosthet. Dent.*, v. 68, n.2, p.264-8, Aug. 1992.
- 13 COHEN, B. I., et al. Retention properties of a split-shaft threaded post: cut at different apical lengths. *J. Prosthet. Dent.*, v.68, n.6, p.894-8, Dec. 1992.
- 14 COHEN, B. I., et al. Comparison of the shear bond strength of a titanium composite resin material with dentinal bonding agents versus glass ionomer cements. *J. Prosthet. Dent.*, v. 68, n.6, p. 904-9, Dec. 1992.
- 15 COHEN, B. I., et al. Retentive properties of threaded split-shaft posts with titanium-reinforced composite cement. *J. Prosthet. Dent.*, v.68, n.6, p.910-2, Dec. 1992.

- 16 COHEN, B.I., et al. Fracture strength of three different core materials in combination with three different endodontic posts. *Int. J. Prosthodont.* v. 7, n.2, p.178-82, 1994.
- 17 COHEN, B.I., et al. Comparison of the torsional forces at failure for seven endodontic post systems. *J. Prosthet. Dent.*, v.74, n.4, p.350-7, Oct. 1995.
- 18 COHEN B.I., et al. Split shank threaded posts and threaded posts: tensile properties and stress levels. *J. Esthet. Dent.*, v.7, n.4, p.174-8, 1995.
- 19 COHEN, B. I., et al. Four different core materials measured for fracture strength in combination with five different designs of endodontic posts. *J. Prosthet. Dent.*, v.76, n.5, p.487-95, Nov. 1996.

- 20 COHEN B.I., et al. Pilot study comparing the photoelastic stress distribution for endodontic post systems. *J. Oral Rehabil.*, v.23, p.679-85, 1996.
- 21 COHEN, B.I. et al. Retention of three endodontic posts cemented with five dental cements. *J. Prosthet. Dent.*, v.79, n.5, 520-5, May 1998.
- 22 COLMAN, H.L. Restoration of endodontically treated teeth. *Dent. Clin. North. Amer.*, v.23, n.4, p.647-62, Oct. 1979.
- 23 COONEY, J.P., CAPUTO A. A. , TRABERT, K. C. Retention and stress distribution of tapered-end endodontic posts. *J. Prosthet. Dent.*, v.55, n.5, p.540-6, May 1986.
- 24 CORRÊA, A. A. , MATSON, E. Avaliação quantitativa dos esforços que ocorrem numa restauração com amálgama de prata pelo Método dos Elementos Finitos. *Rev. Fac. Odontol. São Paulo*, v.15, n.1, p. 19-26, Jun./Jul. 1977.

- 25 DAVY, D. T., DILLEY, G. L., KREJCI, R. F. Determination of stress patterns in root-filled teeth incorporating various dowel designs. *J. Dent. Res.*, v.60, n.7, p. 1301-10, July 1981.
- 26 DEUTSCH, A. S., MUSIKANT, B. L. The Flexi-post as a tap in post placement. *Gen. Dent.* v. 34, n.2, p.146-7, Mar./Apr. 1986.
- 27 DEUTSCH, A. S. et al. Adaptation of a prefabricated post to dentin. *J. Prosthet. Dent.*, v.53, n.2, p.182-4, Feb. 1985.
- 28 DEUTSCH, A. S. et al. Retentive properties of a new post and core system. *J. Prosthet. Dent.*, v.53, n.1, p.12-4, Jan. 1985.
- 29 DEUTSCH, A.S. et al. Root fracture and the design of prefabricated post. *J. Prosthet Dent.*, v.53, n.3, p.637-40, May 1985.

- 30 DEUTSCH, A.S., et al. Root fracture during insertion of prefabricated posts related to root size. *J. Prosthet. Dent.*, v.53, n.6, p.786-9, June 1985.
- 31 DEUTSCH, A.S. et al. Torque placed by dentists on prefabricated threaded posts. *J. Prosthet. Dent.*, v.53, n.3, p.323-8, Mar. 1985.
- 32 DIETER, G. E. *Metalurgia mecânica*. Trad. por. A. S. S. Silva, L. H. Almeida, P. E. V. Miranda. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1981. 653p.
- 33 DIONYSOPOULOS, P. , SKOLIANOS, S., PAPADOGIANNIS, Y. A study of the microstructure of some dental retention pins and prefabricated root canal posts. *J. Oral Rehabil.*, v.22, n.1, p.29-35, Jan.1995.

- 34 FARAH, J.W., CRAIG, R.G. Finite element stress analysis of a restored axisymmetric first molar. *J. Dent. Res.*, v.53, n.4, p. 859-66, July/Aug. 1974.
- 35 FARAH, J.W., DENNISON, J.B., POWERS, J.M. Effect of design on stress distribution of intraoral gold restorations. *J. Am. Dent. Assoc.*, v.94, n.6, p.1151-4, June 1977.
- 36 FELTON, D. A. et al. Threaded endodontic dowels: effect of post design on incidence of root fracture. *J. Prosthet. Dent.*, v.65, n.2, p.179-87, Feb. 1991.
- 37 GLUSKIN, A. H. et al. The mandibular incisor: rethinking guidelines for post and core design. *J. Endod.*, v.21, n. 1, p. 33-7, Jan. 1995.
- 38 GREENFELD, R.S. et al. A comparison of two posts systems under applied compressive-shear loads. *J. Prosthet. Dent.*, v.61, n.1, p. 17-24, Jan. 1989.

- 39 HO, M. H. et al. Three dimensional finite element analysis of the effects of posts on stress distribution in dentin. *J. Prosthet. Dent.* v.72, n.4, p. 367- 72, Oct. 1994.
- 40 HOLMES, D.C., DIAZ-ARNOLD, A M., LEARY, J. M. Influence of post dimension on stress distribution in dentin. *J. Prosthet. Dent.*, v.75, n.2, p.140-7, Feb. 1996.
- 41 HUANG, H.K. , LEDLEY, R.S. Numerical experiments with a linear, force-displacement tooth model. *J. Dent. Res.*, v.48, n.1, p.32-7, Jan./Feb. 1969.
- 42 HUNTER, A. J., FEIGLIN, B., WILLIAMS, J.F. Effect of post placement on endodontically treated teeth. *J. Prosthet. Dent.*, v.62, n.2, p.166-72, Aug. 1989.
- 43 ISIDOR, F., ÖDMAN, P., BRONDUM, K. Intermittent loading of teeth restored using prefabricated carbon fiber posts. *Int. J. Prosthodont.*, v.9, n.2, p.131-6, 1996.

- 44 KAHN, F.H., et al. Comparison of fatigue for three prefabricated threaded post systems. *J. Prosthet. Dent.*, v.75, n.2, p.148-53, Feb. 1996.
- 45 KEYF, F., SAHIN, E. Retentive properties of three post-core systems. *Aust. Dent. J.*, v.39, n.1, p.20-4, Sept. 1994.
- 46 KITO, M., SUETSUGU, T., MURAKAMI, Y. Mechanical behavior of tooth, periodontal membrane and mandibular bone by the finite element method. *Bull. Tokyo Med. Dent. Univ.*, v.24, n.1, p.81-7, Mar. 1977.
- 47 KO, C. C., et al. Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. *J. Prosthet. Dent.*, v.68, n.3, p.421-7, Sept. 1992.
- 48 KOVARIK, R. E., BREEDING, L. C., CAUGHMAN, W. F. Fatigue life of three core materials under simulated chewing conditions. *J. Prosthet. Dent.*, v.68, n.4, p.584-90, Oct. 1992.

- 49 LAMBJERG-HANSEN, H., AMUSSEN E. Mechanical properties of endodontic posts. *J. Oral Rehabil.* , v.24, p.882-7, 1997.
- 50 LEPE, X., BALES, D.J., JOHNSON, G.H. Tensile dislodgment evaluation of two experimental prefabricated post systems. *Oper. Dent.*, v.21, p.209-12, 1996.
- 51 LOYD, P.M., PALIK, J.F. The philosophies of dowel diameter preparation: a literature review. *J.Prosthet.Dent.*, v.69, n.1, p. 32-6, Jan. 1993.
- 52 MARTINEZ - INSUA, A. M., et al. Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core. *J.Prosthet. Dent.*, v. 80, n.5, p.527-32, Nov. 1998.

- 53 MATTISON, G. D. Photoelastic stress analysis of cast-gold endodontic posts. *J. Prosthet. Dent.*, v.48, n.4, p.407-11, Oct. 1982.
- 54 MEYBERG, K. H., LUTHY, H, SCHARER, P. Zirconium posts. A new all ceramic concept for nonvital abutment teeth. *J. Esthet. Dent.* v.7, n. 2, p. 73-80, 1995.
- 55 MORI, M. *Estudo da distribuição das tensões internas, em um dente natural e em dente restaurado com coroa metralo-cerâmica e retentor intra-radicular fundido, sob carga axial – Método do Elemento Finito.* São Paulo, 1994. 63p. Tese. (Doutorado em Prótese Dental) – Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo.
- 56 MUSIKANT, B.L., DEUTSCH, A L. A new prefabricated post and core system. *J. Prosthet. Dent.*, v.52, n.5, p.631-4, Nov. 1984.

57 MUSIKANT, B.L., DEUTSCH, A L. Endodontic posts and cores.

Part one – in vitro research. *J. Ala. Dent. Assoc.*, v.69, p.26-31, Summer 1985.

58 MUSIKANT, B.L., DEUTSCH, A L. Endodontic posts and cores.

Part two – design of the Flexi-post. *J. Ala. Dent. Assoc.*, v.69, p.42-6, Summer 1985.

59 MUSIKANT, B.L., DEUTSCH, A L. Endodontic posts and cores.

Part three-clinical use of the Flexi-post. *J. Ala. Dent. Assoc.*, v.70, p.22-8, Summer 1985.

60 NOONAN, M.A. The use of photoelasticity in a study of cavity

preparations. *J. Dent. Child.*, v.16, n. 4, p.24- 8, 1949.

61 PAO, Y. C., REINHARDT, R. A, KREJCI, R. F. Root stresses

with tapered-end post design in periodontally compromised teeth. *J. Prosthet. Dent.*, v.57, n.3, p.281-6, Mar. 1987.

- 62 PLASMANS, P.J.J.M., et al. In vitro comparison of dowel and core techniques for endodontically treated molars. *J. Endod.*, v.12, n.9, p.382-7, Sept. 1986.
- 63 PETERS, M. S. R. B., et al. Stress analysis of a tooth restored with post and core. *J. Dent. Res.*, v.62, n. 6, p.760-3, June 1983
- 64 REINHARDT, R.A., et al. Dentine stresses in post-reconstructed teeth with diminishing bone support. *J. Dent. Res.*, v.62, n.9, p. 1002-8, Sept. 1983.
- 65 ROLF, K.C., PARKER, M.W., PELLEU, G.B. Stress analysis of five prefabricated endodontic dowel designs: a photoelastic study. *Oper. Dent.*, v.17, p.86-92, 1992.
- 66 SELNA, L.G., SHILLINGBURG JUNIOR, H.T., KERR, P.A. Finite element analysis of dental structures - axisymmetric and

plane stress idealizations. *J. Biomed. Mater. Res.*, v.9, n.2, p. 237-52, Mar. 1975.

67 SIDOLI, G. E. , KING, P. A. , SETCHELL, D. J. An in vitro evaluation of a carbon fiber-based post and core system. *J. Prosthet. Dent.*, v.78, n.1, p.5-9, July 1997.

68 SORENSEN, J.A., MARTINOFF, J. T. Intracoronar reinforcement and coronal coverage study of endodontically treated teeth. *J. Prosthet. Dent.*, v.51, n.5, p.780-6, 1984.

69 STANDLEE, J.P., CAPUTO, A.A . Endodontic dowel retention with resinous cements. *J. Prosthet. Dent.*, v.68, n.6, p. 913-7, Dec. 1992.

70 STANDLEE, J.P., CAPUTO, A.A. Retentive and stress distributing properties of split threaded endodontic dowels. *J. Prosthet. Dent.*, v.68, n.3, p.36-42, Sept. 1992.

- 71 STANDLEE, J.P. et al. The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel. *J. Prosthet. Dent.*, v.44, n.4, p.398- 404, Oct. 1980.
- 72 STEGAROIU, R., et al. Retention and failure mode after cyclic loading in two post and core systems. *J. Prosthet. Dent.*, v.75, n.5, p.506-11, May 1996.
- 73 SUZUKI, H., HATA,Y. Finite element stress analysis of ceramics crowns on premolar. *J. Japan Prosthet. Soc.*, v.33, n.2, p.283-93, 1989.
- 74 THORSTEINSSON, T. S., YAMAN, P., CRAIG, R. Stress analyses of four prefabricated posts. *J. Prosthet. Dent.* v. 67, n.1, p.30-3, Jan. 1992.
- 75 THORESHER, R.W., SAITO, G.E. The stress analysis of human teeth. *J. Biomech.*, v.6, n.5, p.443-9, Sept. 1973.

- 76 TROPE, M., MALTZ, D. O. , TRONSTAD, L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod. Dent. Traumatol.*, v.1, p.108-11, 1985.
- 77 TURNER, M.J. Stiffness and deflections analysis of complex structures. *J. Aeronaut. Sci .*, v.55, n.5, p.772-7, Sept./ Oct. 1956.
- 78 VAN VLACK, L. H. *Princípios de ciência e tecnologia dos materiais*. Trad. E. Monteiro. 4.ed. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1984. 297p.
- 79 YAMAN, P., THORSTEINSSON, S. T. Effect of core materials on stress distribution of posts. *J. Prosthet. Dent.*, v.68, n.3, p. 416-20, Sept. 1992.
- 80 ZALKIND, M., HOCHMAN, N. Direct core build up using a preformed crown and prefabricated zirconium oxide post. *J. Prosthet. Dent.*, v.80, n.6, p.730-2, Dec. 1998.

NISHIOKA, R. S. Estudo da distribuição das tensões internas pelo método dos elementos finitos, em uma raiz com retentor intra-radicular pré-fabricado, rosqueado e com fenda apical. São José dos Campos, 1999, 147p. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista .

RESUMO

A análise dos elementos finitos foi utilizada para estudar o papel de um pino pré-fabricado, rosqueado e bi-partido (Flexi-post) sobre a tensão na dentina de um dente tratado endodonticamente. Um modelo tridimensional da secção méso-distal de um incisivo central superior, sem restauração, foi analisado pelo MSC/NASTRAN (MacNeal/Schwendler), programa de análises, executado em um microcomputador. O modelo foi “discretizado” em 48.954 elementos finitos assimétricos, definidos por 10.355 nós. Para cada elemento, foi transferido uma única propriedade elástica para representar os materiais modelados. Homogeneidade, isotropia e elasticidade linear foi atribuída para todo o material. Uma carga estática de 100N foi aplicada sobre o bordo incisal do pino; no sentido vertical, oblíquo a 45 graus, horizontal e uma simulação sem carga. O Critério Máximo de Escoamento e a tensão de Von Mises foram calculados. Utilizando-se as análises do elemento modelado e empregado nesse estudo, o seguinte pode ser concluído a respeito do pino rosqueado bi-partido (Flexi-post): A tensão máxima principal na dentina foi localizada na área cervical e no ápice do pino. As roscas apicais do pino não redirecionam as tensões para a raiz.

PALAVRAS CHAVES: Análise da tensão, pino rosqueado, análise dos elementos finitos.

NISHIOKA, R. S. *Study of stress distribution with finite element method in a root with prefabricated threaded split shaft post*. São José dos Campos, 1999, 147p. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista.

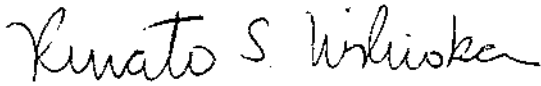
ABSTRACT

A finite element analysis was carried out to study the role of prefabricated threaded split shaft post (Flexi-post) on dentinal stress in pulpless tooth. Three dimensional plane strain models of mesio-distal section of a human maxillary central incisor without restoration was analysed with the MSC/NASTRAN (MacNeal/ Schwendler) general purpose finite analysis program was executed on a microcomputer. The model was "discretized" into 48.954 axisymmetric finite elements defined by 10.355 nodes. Each element was assigned unique elastic properties to represent the materials modeled. Homogeneity, isotropy and linear elasticity were assume for all material. A static load of 100 N was applied to the incisal edge of the post; vertical, at 45 degrees angle, horizontal and one simulation without load . Maximal principal stressses and von Mises equivalent stress were calculated. Using the element analysis model employed in this study, the following can be concluded concerning threaded split shaft post (Flexi-post): Maximum principal stresses in dentin were located at cervical place and at the post apex. The apical threads of the post not redirecting stresses away from the root.

KEYWORDS: *Stress analysis, threaded post, finite element analysis*

Autorizo a reprodução xerográfica deste trabalho

São José dos Campos, 2 de Dezembro de 1999.


Renato Sussumu Nishioka