



Martha Vasconcellos Amarante

**Análise de Tensões em Dentina
Restaurada com Pinos Intra-Radiculares
de Diferentes Materiais**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Engenharia Metalúrgica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio.

Orientador: Marcos Venicius Soares Pereira

Co- Orientador: Arnaldo Freitas Camarão

Rio de Janeiro
Outubro de 2003



Martha Vasconcellos Amarante

**Análise de Tensões em Dentina
Restaurada com Pinos Intra-Radiculares
de Diferentes Materiais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Engenharia Metalúrgica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica do Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia da PUC-Rio.

Prof. Marcos Venicius Soares Pereira

Orientador

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia
PUC-Rio

Dr. Arnaldo Freitas Camarão

Co-Orientador

ArvinMeritor / São Paulo

Prof. Cláudio Pinheiro Fernandes

Universidade Veiga de Almeida

Prof. Deane de Mesquita Roehi

Departamento de Engenharia Civil

PUC-Rio

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial de Pós-Graduação do
Centro Técnico Científico da PUC-Rio

Rio de Janeiro, 27 de outubro de 2003

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Martha Vasconcellos Amarante

Dentista formada pela Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1985.

Especialista em endodontia pela Associação Brasileira de Endodontia do Rio de Janeiro desde 1995.

Ficha Catalográfica

Amarante, Martha Vasconcellos

Análise de tensões em dentina restaurada com pinos intrarreticulares de diferentes materiais / Martha Vasconcellos Amarante ; orientador: Marcos Venicius Soares Pereira ; co-orientador: Arnaldo Freitas Camarão. Rio de Janeiro : PUC-Rio, 2003.

156 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia.

Inclui referências bibliográficas

1. Ciência dos materiais e metalurgia – Teses. 2. Biomateriais. 3. Odontologia. 4. Bioengenharia. 5. Dentina. I. Pereira, Marcos Venicius Soares. II. Camarão, Arnaldo Freitas. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia. IV. Título.

CDD:669

Para se chegar, onde quer que seja, não é preciso
dominar a força, mas sim, é preciso ter paciência.
É preciso, antes de mais nada, confiar.

Dedico este trabalho à todos os que são ***pacientes***.

Agradecimentos

Ao Prof. Marcos Venicius Soares Pereira pelo carinho e grande apoio à realização deste trabalho, assim como pela oportunidade concedida em adquirir novos conhecimentos.

Ao Dr. Arnaldo Freitas Camarão por sua participação fundamental no suporte ao trabalho, como também por sua amizade.

A Arvinmeritor - São Paulo que permitiu a realização das simulações.

A Smartech pela introdução dos conhecimentos técnicos necessários à concretização das simulações.

Ao Dr. José Eduardo Amarante por seu estímulo e valiosa colaboração.

Aos professores do mestrado e a todos os funcionários do DCMM pela acolhida e atenção sempre dispensadas.

A minha família, especialmente aos meus filhos pela grande cumplicidade e companheirismo, e a meus pais pela constante parceria.

Resumo

Amarante, Martha Vasconcellos; Pereira, Marcos Venicius Soares (Orientador). **Análise de Tensões em Dentina Restaurada com Pinos Intra-Radiculares de Diferentes Materiais**. Rio de Janeiro, 2003. 124p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta a distribuição de tensões em uma dentina radicular restaurada com pinos intra-radiculares confeccionados de diferentes de materiais.

Dois modelos bi-dimensionais de um incisivo central superior com paredes dentinárias radiculares de pouca espessura, incluindo seus elementos de suporte, foram criados com a ajuda do programa AutoCAD 2000. O Modelo 1 representou um dente despulpado, com obturação radicular de guta-percha e restaurado com um pino intra-radicular fundido e uma coroa de cerâmica pura. Este modelo foi utilizado para as análises de pinos de ouro e de zircônia. O Modelo 2 foi similar ao primeiro, porém adotou-se um pino cilíndrico centralizado na cavidade radicular e preenchido com resina composta, sendo utilizado para as análises de pinos pré-fabricados de fibra de vidro e fibra de carbono. A simulação numérica foi realizada pelo software ANSYS 7.0, sendo os modelos carregados com uma força de 100 N em angulações de 45° e 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.

Os resultados mostraram que, em todos os modelos, as tensões se concentraram na terminação apical do pino, indicando que esta é uma região crítica da raiz, podendo a geometria do pino influenciar no risco de fratura da mesma. Nos pinos fundidos, caracterizados por uma maior rigidez elástica, as maiores tensões se concentraram no próprio pino, preservando a dentina radicular na sua porção média e cervical e, portanto, se mostrando mais eficientes no caso de raízes desgastadas. Já nos pinos pré-fabricados, observou-se uma distribuição de tensões de forma mais homogênea pelo dente e um menor nível de tensões no pino, preservando o material restaurador. Entretanto, a dentina radicular foi exposta a maiores carregamentos mecânicos.

Palavras-chave

Odontologia; incisivo central superior; biomateriais; bioengenharia; método dos elementos finitos.

Abstract

Amarante, Martha Vasconcellos; Pereira, Marcos Venicius Soares (Advisor). **Stress Analysis in a Dentin Restored by Endodontic Posts Made of Different Materials**. Rio de Janeiro, 2003. 124p. M.Sc. Dissertation – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work presents the stress distribution in a root dentin restored by means of endodontic posts made of different materials.

Two 2-D models of a maxillary central incisor with thin dentin walls, including its support elements were created making use of AutoCAD 2000 software. Model 1 represented a pulpless tooth, filled with guta-percha and restored adopting a cast post and an all-ceramic crown. This model was used for the analysis of gold and zirconia posts. Model 2 was similar to the first one, but adopted a cylindrical post centralized in the root cavity and filled with composite resin. This model represented the prefabricated posts made of glass fiber and carbon fiber. The numerical simulation was carried out by the ANSYS 7.0 software and the models were loaded with 100 N applied at the angles of 45° and 180° with respect to the longitudinal tooth axis.

The results showed that, in all models, the stresses were concentrated at the apical end of the posts, indicating that this region is a critical root region and that the post's geometry can influence its risk of fracture. With regard to the cast posts, characterized by a higher elastic stiffness, a greater stress level was concentrated at the post, preserving the root dentin at the medium and cervical regions and, therefore, being considered more efficient in the case of worn roots. The models based on glass fiber and carbon fiber showed a homogenous stress distribution along the tooth as well lower stress level at the post, preserving the restoring material. However, the root dentin was subjected to higher mechanical loading.

Keywords

Dentistry; maxillary central incisor; biomaterials; bioengineering; finite element method.

Sumário

1. Introdução	1
2. Revisão da Literatura	3
2.1. Conceitos de confecção e aplicação de pinos intra-radiculares	3
2.2. Comportamento mecânico dos pinos intra-radiculares	11
2.3. O método de elementos finitos	15
2.4. Aplicação do método de elementos finitos na avaliação de restaurações intra-radiculares	19
3. Materiais e Métodos	25
3.1. Modelagem geométrica	25
3.2. Processamento pelo método dos elementos finitos	32
4. Apresentação e Discussão dos Resultados	38
4.1. Deflexões nos modelos com os diferentes materiais	39
4.2. Distribuição das tensões de cisalhamento no eixo X-Y	42
4.2.1. Modelos com carga aplicada à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente	43
4.2.2. Modelos com carga aplicada à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente	51
4.3. Distribuição das tensões principais	59
4.3.1. Modelos com carga aplicada à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente	60
4.3.2. Modelos com carga aplicada à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente	69
4.4. Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i>	77
4.4.1. Modelos com carga aplicada à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente	78
4.4.2. Modelos com carga aplicada à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente	89
4.5. Discussão geral das análises dos modelos	99
4.6. Relevância dos resultados para a clínica odontológica	125

5. Conclusões	129
6. Referências bibliográficas	131

Lista de Figuras

Figura 1 - Modelo a ser processado.	36
Figura 2 - Colocação da malha.	37
Figura 3 - Imposição das condições de contorno.	37
Figura 4 - Deformação resultante na estrutura.	37
Figura 5 - Representação gráfica das tensões.	37
Figura 6 – Modelo 1 do incisivo central superior e seus elementos de suporte, tratado endodonticamente e restaurado com pino fundido e coroa cerâmica.	46
Figura 7 - Pino intra-radicular fundido confeccionado em ouro.	47
Figura 8 - Pino intra-radicular fundido confeccionado em zircônia.	47
Figura 9 - Modelo 2 do incisivo central superior e seus elementos de suporte, tratado endodonticamente e restaurado com pino pré-fabricado e resina composta.	48
Figura 10 - Pino intra-radicular pré-fabricado em fibra de vidro.	49
Figura 11 - Modelo 3 do incisivo central superior hígido e seus elementos de suporte.	50
Figura 12 - Aplicação da malha no modelo do incisivo central Superior restaurado com pino intra-radicular fundido e coroa cerâmica.	53
Figura 13 - Aplicação da malha no modelo do incisivo central Superior restaurado com pino intra-radicular pré-fabricado e resina composta, e coroa cerâmica.	54
Figura 14 - Aplicação da malha no modelo do incisivo central Superior hígido.	55
Figura 15 - Detalhamento dos elementos mostrando a continuidade da malha nas diferentes regiões.	56
Figura 16 - Visualização das condições de contorno aplicadas nos modelos: restrição na borda superior do osso e carregamentos de 45° e 180° no eixo longitudinal do dente.	56
Figura 17 - Deflexão obtida pelo programa de elementos finitos no modelo restaurado com pino fundido de ouro, após carregamento de 100 N à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	58
Figura 18 - Deflexão obtida pelo programa de elementos finitos no modelo restaurado com pino fundido de ouro, após carregamento de 100 N à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	59

Figura 19 - Distribuição das tensões de cisalhamento no modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	62
Figura 20 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	63
Figura 21 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	63
Figura 22 - Distribuição das tensões de cisalhamento no modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	64
Figura 23 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	65
Figura 24 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	65
Figura 25 - Distribuição das tensões de cisalhamento no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	66
Figura 26 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	67
Figura 27 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	67
Figura 28 - Distribuição das tensões de cisalhamento no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	68
Figura 29 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	69

Figura 30 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	69
Figura 31 - Distribuição das tensões de cisalhamento no modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	70
Figura 32 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	71
Figura 33 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região coronária do modelo restaurado com fundido de ouro, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	71
Figura 34 - Distribuição das tensões de cisalhamento no modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	72
Figura 35 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	73
Figura 36 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	73
Figura 37 - Distribuição das tensões de cisalhamento no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	74
Figura 38 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	75
Figura 39 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	75
Figura 40 - Distribuição das tensões de cisalhamento no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	76

Figura 41 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	77
Figura 42 - Distribuição das tensões de cisalhamento na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	78
Figura 43 - Distribuição das tensões principais no modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	79
Figura 44 - Distribuição das tensões principais na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	80
Figura 45 - Distribuição das tensões principais na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	81
Figura 46 - Distribuição das tensões principais no modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	82
Figura 47 - Distribuição das tensões principais na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	83
Figura 48 - Distribuição das tensões principais na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	83
Figura 49 - Distribuição das tensões principais no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	84
Figura 50 - Distribuição das tensões principais na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	85
Figura 51 - Distribuição das tensões principais na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	85

Figura 52 - Distribuição das tensões principais no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	86
Figura 53 - Distribuição das tensões principais na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	87
Figura 54 - Distribuição das tensões principais na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	87
Figura 55 - Distribuição das tensões principais no modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	88
Figura 56 - Distribuição das tensões principais na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	89
Figura 57 - Distribuição das tensões principais na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de ouro com, carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	89
Figura 58 - Distribuição das tensões principais no modelo restaurado com pino fundido de zircônia com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	90
Figura 59 - Distribuição das tensões principais na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	91
Figura 60 - Distribuição das tensões principais na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	91
Figura 61 - Distribuição das tensões principais no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	92
Figura 62 - Distribuição das tensões principais na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	93
Figura 63 - Distribuição das tensões principais na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	93

Figura 64 - Distribuição das tensões principais no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	94
Figura 65 - Distribuição das tensões principais na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	95
Figura 66 - Distribuição das tensões principais na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	95
Figura 67 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	97
Figura 68 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	98
Figura 69 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	98
Figura 70 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	99
Figura 71 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	100
Figura 72 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	100
Figura 73 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	101
Figura 74 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	102

Figura 75 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	102
Figura 76 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	103
Figura 77 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	104
Figura 78 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	104
Figura 79 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo hígido, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	105
Figura 80 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo hígido, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente, com a escala de cores comprimida.	106
Figura 81 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo hígido, com carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	107
Figura 82 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	108
Figura 83 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	109
Figura 84 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de ouro, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	109
Figura 85 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	110
Figura 86 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região radicular do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	111

Figura 87 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo restaurado com pino fundido de zircônia, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	111
Figura 88 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	112
Figura 89 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	113
Figura 90 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de vidro e resina composta com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	113
Figura 91 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	114
Figura 92 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região radicular do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	115
Figura 93 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo restaurado com pino pré-fabricado de fibra de carbono e resina composta com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	115
Figura 94 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no modelo hígido, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	116
Figura 95 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> na região coronária do modelo hígido, com carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	117
Figura 96 - Distribuição das tensões de cisalhamento desenvolvidas nos modelos em função das regiões do dente após carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	120
Figura 97 - Distribuição das tensões de cisalhamento desenvolvidas nos modelos em função das regiões do dente após carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	122

Figura 98 - Distribuição das tensões principais máximas desenvolvidas nos modelos em função das regiões do dente após carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	125
Figura 99 - Distribuição das tensões principais máximas desenvolvidas nos modelos em função das regiões do dente após carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	128
Figura 100 - Distribuição das tensões principais mínimas desenvolvidas nos modelos em função das regiões do dente após carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	131
Figura 101 - Distribuição das tensões principais mínimas desenvolvidas nos modelos em função das regiões do dente após carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	134
Figura 102 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> desenvolvidas nos modelos em função das regiões do dente após carregamento aplicado à 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	137
Figura 103 - Distribuição das tensões equivalentes de <i>von Mises</i> desenvolvidas nos modelos em função das regiões do dente após carregamento aplicado à 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	142

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Propriedades elásticas dos materiais adotados na simulação numérica.	32
Tabela 2 - Deflexões máximas ocorridas nos modelos em função do material dos pinos intra-radiculares com carregamento de 100 N.	40
Tabela 3 - Tensões cisalhantes máximas no dente restaurado após carregamento de 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	100
Tabela 4 - Tensões cisalhantes máximas no dente restaurado após carregamento de 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	102
Tabela 5 - Tensões principais máximas (de origem trativa) no dente restaurado após carregamento de 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	105
Tabela 6 - Tensões principais máximas (de origem trativa) no dente restaurado após carregamento de 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	108
Tabela 7 - Tensões principais mínimas (de origem compressiva) no dente restaurado após carregamento de 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	111
Tabela 8 - Tensões principais mínimas (de origem compressiva) no dente restaurado após carregamento de 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	114
Tabela 9 - Tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no dente restaurado após carregamento de 45° em relação ao eixo longitudinal do dente.	117
Tabela 10 - Tensões equivalentes de <i>von Mises</i> no dente restaurado após carregamento de 180° em relação ao eixo longitudinal do dente.	122