

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIA DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
ODONTOLÓGICAS**

**ANÁLISE DE SOBREVIDA E RESISTÊNCIA À
FRATURA DE RAÍZES RESTAURADAS COM
DIFERENTES PINOS INTRARRADICULARES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Vinícius Felipe Wandscher

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

**ANÁLISE DE SOBREVIDA E RESISTÊNCIA À FRATURA DE
RAÍZES RESTAURADAS COM DIFERENTES PINOS
INTRARRADICULARES**

Vinícius Felipe Wandscher

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Área de Concentração em Odontologia, ênfase em Prótese Dentária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Odontológicas**.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Felipe Valandro

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Wandscher, Vinícius Felipe
ANÁLISE DE SOBREVIDA E RESISTÊNCIA À FRATURA DE RAÍZES
RESTAURADAS COM DIFERENTES PINOS INTRARRADICULARES /
Vinícius Felipe Wandscher.-2012.
59 p.; 30cm

Orientador: Luiz Felipe Valandro
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós-
Graduação em Ciências Odontológicas, RS, 2012

1. análise de sobrevida 2. resistência à fadiga 3.
pinos intrarradiculares 4. resistência à fratura I.
Valandro, Luiz Felipe II. Título.

© 2012

Todos os direitos autorais reservados a Vinícius Felipe Wandscher. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Marechal Floriano Peixoto, 1184, centro, Santa Maria, RS. CEP: 97015-372

Fone: (55) 3220-9276; 9972-4671; E-mail: viniwan@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas
Associação com o Programa de Pós-Graduação em Odontologia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE DE SOBREVIDA E RESISTÊNCIA À FRATURA DE RAÍZES
RESTAUDAS COM DIFERENTES PINOS INTRARRADICULARES**

elaborada por
Vinícius Felipe Wandscher

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciências Odontológicas

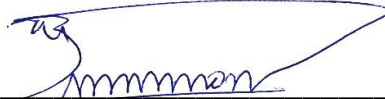
COMISSÃO EXAMINADORA:



Luiz Felipe Valandro, Dr.
(Presidente/Orientador)



Tatiana Pereira Cenci, Dra. (UFPel)



Paulo Afonso Burmann, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 23 de março de 2012

Dedico esta dissertação:

A Deus, por me permitir chegar até aqui com saúde e felicidade para poder desenvolver este trabalho, iluminando e guiando-me nos momentos de dificuldade e apreensão. Agradeço também por ter colocado pessoas tão especiais a meu redor.

Aos meus pais, Marlene e Clóvis, que me ensinaram a ter força, garra e determinação em tudo que fizesse; por todo suporte que tive para alcançar mais um objetivo em minha vida, sempre me apoiando em minhas decisões, presentes em todo momento, não medindo esforços para alcançar os meus sonhos. Por causa de vocês consigo manter-me focado em minhas escolhas. O suporte necessário para conseguirmos algo na vida é a FAMÍLIA. Amo vocês.

Aos meus avós, Odila e Albino, e Dorilda e Waldemar. Sempre estarão comigo.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por permitir que chegasse até aqui, mantendo-me em condições necessárias para alcançar esse objetivo tão esperado e sonhado.

Aos meus pais pelo apoio e determinação em me proporcionar um futuro melhor, sempre incansáveis em me dar todo o suporte necessário.

À minha namorada Ana Maria pelo amor, apoio, compreensão nestes 2 anos de curso. Obrigado pelo entendimento de minhas obrigações com o mestrado, em que muitas vezes tivemos que deixar de passar bons momentos juntos. Muito obrigado por tudo. Te amo.

À CAPES e ao CNPq pela concessão de suporte financeiro durante estes dois anos de mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Felipe Valandro, pelos 5 anos de amizade e suporte intelectual. Muito obrigado por tudo que fizeste por mim, pelos momentos de conversas “cabalísticas e substanciais”, por proporcionar condições de crescimento intelectual dentro do grupo de pesquisa e acima de tudo para a vida profissional. **MUITO OBRIGADO, PROFESSOR.**

À professora Karla e ao professor Felipe pela amizade e discussões muito válidas sobre o meu futuro, por sempre me receberem muito bem em sua casa, pelos jantares e momentos de confraternização.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas da Universidade Federal de Santa Maria: Alexandre Henrique Susin, Carlos Alexandre Souza Bier, Carlos Heitor Cunha Moreira, Marcia da Silva Schmitz, Osvaldo Bazzan Kaizer, Paulo Afonso Burmann, Roselaine Terezinha Pozzobon, Thiago Machado

Ardenghi, Beatriz Unfer, Bruno Lopes da Silveira, Renésio Armino Grehs, Juliana Rodrigues Praetzel, Karla Zanini Kantorsky, Letícia Borges Jacques, Liliana Gressler May, Luiz Felipe Valandro, Maria Teresa Campos Velho e Rachel de Oliveira Rocha, o meu muitíssimo obrigado por tudo o que fizeram por mim e fazem pelo programa.

Um agradecimento aos professores Carlos Heitor e Karla pelo acolhimento na clínica da Pós-Graduação todas as quinta-feiras de manhã. Agradeço também ao professor Mutti pela orientação nos procedimentos de prótese realizados nessa clínica, além da amizade e conversas descontraídas.

À professora Roselaine Pozzobon por sempre apoiar nossos planos e de estar à frente da coordenação do Programa, juntamente com os professores Carlos Heitor, Luiz Felipe e Thiago Ardenghi.

Ao professor Thiago Ardenghi pelo suporte e sempre disposição em me auxiliar nesta pesquisa.

Ao professor Inácio da Fontoura Limberguer, professor do curso de Engenharia Mecânica da UFSM pelo incansável auxílio e disponibilidade nas explicações sobre mecânica de fratura e testes mecânicos.

Ao professor Alexandre Bier, sempre alegre e disposto a ajudar.

Ao professor e amigo, diretor do Centro de Ciências da Saúde, Paulo Afonso Burmann, sempre apoiando o andamento das atividades da Pós-Graduação, nos auxiliando quando precisávamos.

À secretária do Programa, Jéssica, que nunca mediu esforços para ajudar alunos e professores em suas caminhadas dentro destes dois anos. Muito obrigado pelo apoio, amizade e momentos agradáveis.

A todos os colegas da minha turma de mestrado: Aline Otani, Ana Carolina de Oliveira Ferreira, Bruna Cássia R. Buzatti, Cláudia B. Flores, Débora Palma, Deise Osmari, Gisele Franciscatto, Héllen L. Oliveira, Juliana Broch, Lisandra Mozzaquatro, Manuela Favarin Santini,

Maristela Lago, Regina Miranda, Renata Saraiva Guedes, Rodrigo Ardais, Stefanie B. Werle, Tatiana Perrone e Victor Hugo Morari, muito obrigado pelos momentos ímpares que passamos juntos.

À minha colega, grande amiga e por que não “irmã”, Manuela Favarin Santini, pela amizade nestes 7 anos de parceria. Muito obrigado pelos momentos de discussão intelectual, lanches (panchos, pastéis, refris, cafés, salgados, docinhos,...) e acima de tudo por contar contigo nos momentos em que mais precisei. “Feitooooo Manuuuu”. Muito obrigado.

Pelos momentos de redação do trabalho na sala 706 com as colegas Manuela e Stefanie.

Aos momentos agradáveis no laboratório com as colegas: Aline, Ana Carolina, Débora, Gisele, Héllen, Lisandra, Maristela, Manuela, Stefanie e Victor.

A todos os colegas que me ajudaram de uma forma ou de outra a manter o laboratório organizado e limpo, dando condições de uso apropriado a todos.

À colega Tatiana pelas ótimas conversas. Muito obrigado Tati.

Aos amigos da quinta turma do mestrado do PPGCO pelos belíssimos jogos e lances futebolísticos protagonizados nos campos de futebol de Santa Maria. A vocês um grande abraço: Guilherme Rosa (“O zagueiro sensato”), Danilo Dutra (“Zidanilo”), Guilherme Freitas (“El Batedor”), Rodrigo Bueno (“Washington Bueno”), Fernando Dellazzana (“FD9”), Felipe Flores (“O centroavante de luxo”), Rafael Pillar (“dá-lhe Bojojo”), Marcos Paulo Marchiori (“O paredão do mestrado”), Leonardo Caporossi (“Cuiabá, o gigante da colina”), Leonardo Botton (“O meia cancha de aproximação”) e Dieison (“Bá, me machuquei gurizada, vou passar o jogo hoje”). Aos professores titularíssimos, André Mallmann (“A experiência é que conta”) e Bruno Lopes da Silveira (“Bruno Gladiador”).

Ao amigo da quarta turma, também boleiro, Felipe Degrazia (“FD10”). Valeu gurizada e muito sucesso a todos.

Aos amigos e colegas do grupo de pesquisa do professor Felipe: Andressa, Ariele, Carol, César, Emília, Fabíola, Gabriel, Marília, Marina, Mateus, João. Muito obrigado pelos momentos de discussão e confraternização. Muito sucesso a todos vocês. Um grande abraço.

À Ariele pela grande ajuda e disponibilidade para realização desta pesquisa.

Ao grande amigo César pela ajuda na elaboração deste trabalho, discussões intelectuais, momentos de descontração. Um forte abraço.

Aos amigos Jovito Skupien e Marina Kaizer sempre dispostos a ajudar a qualquer momento.

Às grande amigas Marina e Marília pela sempre disponibilidade em me ajudar nos momentos de dúvida.

Aos amigos também do grupo de discussões orientados pela professora Liliana: Ana Maria, Bárbara, Iana, Priscila, Sara e professora Liliana, muito obrigado pelos momentos de crescimento intelectual e descontração.

Aos amigos da periodontia: Danilo, Tatiana, Guilherme, Leonardo, Jociana e Ticiani, obrigado pelos bons momentos na clínica da Pós-Graduação da periodontia.

Às funcionárias da antiga reitoria: Dona Maria, Elvira, Elenita, Maslova, Medianeira, Ilda, Isete, Grimanesa, Eloisa, Ercilda e senhor Jorge, sempre nos dando condições de trabalho, incansáveis na limpeza e organização das salas de aula, clínicas e laboratórios.

Aos funcionários e vigilantes da portaria: Sr. Dilceu. Pedro, Damião, Divino, Luana e Ionara.

Ao frigorífico Silva pela disponibilidade na obtenção de dentes bovinos para as pesquisas laboratoriais.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE DE SOBREVIDA E RESISTÊNCIA À FRATURA DE RAÍZES FRAGILIZADAS RESTAURADAS COM DIFERENTES PINOS INTRARRADICULARES

AUTOR: VINÍCIUS FELIPE WANDSCHER
ORIENTADOR: LUIZ FELIPE VALANDRO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 22 de março de 2012.

Objetivos: Avaliar a sobrevida e a resistência à fratura de raízes fragilizadas e não fragilizadas restauradas com diferentes pinos intracanaís.

Métodos: oitenta incisivos bovinos foram seccionados em 16 mm e preparados em 12 mm com brocas padronizadas. 50 raízes foram fragilizadas com ponta diamantada mantendo 0,5 mm de espessura e 6 mm intra canal e 30 foram mantidas sem fragilização. Os espécimes foram embutidos em cilindros de PVC até 3 mm coronários (limite ósseo) e o ligamento periodontal foi simulado com poliéter. A divisão dos grupos foi: G1 e G2, núcleo metálico fundido (liga nobre) com (NMF-LN FRAG) e sem (NMF-LN NFRAG) fragilização, respectivamente; G3 e G4: núcleo metálico fundido (liga não nobre) com (NMF-LNN FRAG) e sem (NMF-LNN NFRAG) fragilização, respectivamente; G5 e G6: pino de fibra de vidro com (PFV FRAG) e sem (PFV NFRAG) fragilização, respectivamente; G7: pinos de fibra especiais para canais alargados (PFV-E FRAG) e G8: pinos de fibra re-embasados com resina composta (PA FRAG). Todos os pinos foram cimentados adesivamente. Os espécimes foram submetidos à ciclagem mecânica (37°C, 45°, 130N, 2.2Hz e 1.5×10^6 ciclos) e acompanhados entre intervalos de 5×10^4 ciclos quanto à presença do evento "trinca". Os espécimes que sobreviveram foram submetidos ao teste de resistência à fratura sob aplicação de carga na face palatina da coroa (45° e 1 mm/min) até a falha. O modo de falha foi classificado em favorável (acima do limite ósseo simulado) e desfavorável (abaixo do limite ósseo simulado). As taxas de sobrevida foram estimadas pela curva de Kaplan-Meier e as taxas de sobrevivência de acordo com os grupos de estudo foram analisadas através do teste log-rank ($p \leq 0,05$). Os dados de resistência à fratura foram analisados pelo teste de ANOVA 1 fator e Tukey ($p = 0,05$).

Resultados: para análise de sobrevida, 7 espécimes fraturaram durante a ciclagem mecânica (grupos FRAG: 2 fraturas para PFV, 1 para NMF-LN e 2 para PA, grupos NFRAG: 2 para PFV). As comparações post-hoc demonstraram diferença apenas entre os espécimes dos grupos PFV-E e NMF ($p = 0,004$). Para resistência à fratura houve diferença estatística ($p < 0,0001$) entre os grupos fragilizados: G1- $541,4 \pm 227,4^A$, G3- $642,6 \pm 219,5^A$, G5- $282,2 \pm 64,7^B$, G7- $274,1 \pm 51,3^B$, G8- $216,6 \pm 63,6^B$ com predominância de falhas desfavoráveis. **Conclusão:** Observou-se maior taxa de sobrevida para PFV-E em relação aos NMF (LN/LNN). Quanto ao teste de resistência à fratura, as raízes fragilizadas restauradas com núcleos metálicos fundidos apresentaram pior comportamento em relação às raízes restauradas com pinos de fibra de vidro (PFV, PFV-E e PA).

Palavras-chave: análise de sobrevida, resistência à fadiga, pinos intrarradiculares, resistência à fratura

ABSTRACT

Master Course Degree

Post Graduate Program in Dental Science

Federal University of Santa Maria

SURVIVAL ANALYSIS AND FRACTURE RESISTANCE OF WEAKENED ROOTS RESTORED WITH DIFFERENT SYSTEMS POSTS

AUTHOR: VINÍCIUS FELIPE WANDSCHER

ADVISER: LUIZ FELIPE VALANDRO

Defense Place and Date: Santa Maria, March 22th, 2012

Objectives: To evaluate the survival analysis and the fracture resistance of weakened (W) and not weakened (NW) roots restored with different intracanal systems posts.

Methods: Eighty teeth were sectioned in 16mm and prepared in 12mm with a custom drill. Fifty roots were weakened with a tapered diamond drill and 30 kept without weakening. The specimens were embedded with acrylic-resin in PVC cylinders until 3mm coronal (bone limit) and the periodontal ligament was simulated with polyether material. The experimental design was: G1 and G2: cast and post core (Golden Alloy) with (CPC-GL W) or without (CPC-GL NW) weakened roots, respectively; G3 and G4: cast and post core (Ni-Cr alloy) with (CPC-Ni W) or without (CPC-Ni NW) weakened roots, respectively; G5 and G6: fiber-posts with (FP-NW) or without (FP-W) weakened roots; G7: fiber-posts especially designed for weakened roots (FP-E W); G8: fiber-posts relined with composite-resin for weakened roots (FP-CR). All posts were adhesively cemented. All of the restored specimens were submitted to the mechanical cycling (37°C, 45°, 130N, 2.2Hz and 1.5 million pulses) and follow up intervals between cycles 5×10^4 evaluating the presence of the event "crack". The specimens that survived the mechanical cycling were subjected to the fracture-resistance test under load application on palatal zone at 45°-inclination (cross-head speed = 1 mm/min) until failure. Failure mode was classified in favorable (above the simulated bone limit) and catastrophic (below the simulated bone limit). Survival rates were estimated using the technique of Kaplan-Meier method and survival rates according to the study groups were analyzed using the log-rank test ($p \leq 0.05$). Fracture resistance data were analyzed by the one-way ANOVA and Tukey test ($p = 0.05$).

Results: The post-hoc comparisons showed differences between specimens in groups FP-E and CPC ($p = 0.004$). For fracture resistance statistical differences ($p < 0.0001$) were depicted among the weakened groups: CPC-GL 541.4 ± 227.4^A , CPC-Ni 642.6 ± 219.5^A , FP- 282.2 ± 64.7^B , FP-E- 274.1 ± 51.3^B , FP-RC- 216.6 ± 63.6^B . No differences were observed for groups without weakening: CPC-GL- 459.3 ± 111.1^A , CPC-Ni- 422.0 ± 151.9^A and FP- 347.9 ± 91.8^A , with majority of favorable failures.

Conclusions: weakened roots restored with CPC promoted high values of fracture toughness and failure rates unfavorable. There was higher survival rate for FP-E in relation to CPC (GL / Ni).

Key words: survival rate, fatigue cycling, fracture resistance, intra canal posts

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
ARTIGO – ANÁLISE DE SOBREVIDA E RESISTÊNCIA À FRATURA DE RAÍZES FRAGILIZADAS RESTAURADAS COM PINOS INTRARRADICULARES.....	15
Resumo.....	18
1. INTRODUÇÃO	19
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
2.1 Seleção dos dentes.....	22
2.2 Confecção e Cimentação dos Retentores Intrarradiculares:	23
2.3 Confecção e cimentação de coroas totais metálicas	25
2.4 Ciclagem mecânica	25
2.5 Teste de resistência à fratura	26
2.6 Análise de falha.....	26
2.7 Análise estatística.....	26
3. RESULTADOS	27
3.1 Ciclagem mecânica: análise descritiva e sobrevida (Método de Kaplan-Meier)	27
3.2 Resistência à fratura.....	28
4. DISCUSSÃO.....	29
5. CONCLUSÕES	34
6. REFERÊNCIAS.....	46
REFERÊNCIAS	54
ANEXOS.....	56
ANEXO A - Normas para publicação no periódico <i>Journal of Mechanical Behavior of the Biomedical Materials</i>	56

* Formatado de acordo com as normas do periódico *Journal of Mechanical Behavior of the Biomedical Materials*.

INTRODUÇÃO

Após o tratamento endodôntico, elementos dentais passam por alterações biológicas como a diminuição de umidade da dentina radicular além de modificações na resiliência, resistência (Gutmann et al., 1992) e quantidade de estrutura dentária. Assim, dependendo do grau de destruição da estrutura dental coronária, dentes tratados endodonticamente frequentemente necessitam de ancoragem intrarradicular para reter o material de reconstrução (Baldissara et al., 2003).

É muito freqüente a indicação de pinos intrarradiculares quando uma coroa total é necessária para a restauração de dentes despulpados (Purton & Payne, 1996). A função do núcleo é, basicamente, prover retenção para a porção coronária, a qual irá substituir a estrutura da coroa perdida (Trope et al., 1985; Mitsui et al., 2004). Pinos ideais devem transmitir o mínimo de tensões para a estrutura dental, provendo adequada retenção ao núcleo, e sendo facilmente removidos em caso de retratamento endodôntico (King et al., 1990).

Um dos fatores que influenciam gradativamente na estrutura dental restaurada com sistemas de pinos e núcleos é o módulo de elasticidade (E) desses materiais. A partir do momento em que uma carga é aplicada nessa estrutura dental restaurada, esses materiais serão requisitados e responderão a essa solicitação. O módulo de elasticidade confere a qualidade da resposta que será efetuada e o grau de transferência dessa carga para a estrutura dental remanescente (Asmussen et al., 2005; Coelho et al., 2009; Lanza et al., 2005).

Estudos a respeito de raízes restauradas com pinos intrarradiculares, através do método de elementos finitos e análise fotoelástica, mostram que núcleos fundidos ou pinos pré-fabricados rígidos (aço inoxidável, titânio e zircônia) transferem uma maior transmissão de tensões para a dentina circundante ao pino em relação a retentores de fibra (Coelho et al., 2009; Meira et al., 2009, Yamamoto et al., 2009; Asvanund et al., 2011). Assim, acredita-se que este fator esteja associado ao alto índice de falhas desfavoráveis em estudos *in vitro* (Mannocci et al., 1999; Maccari et al., 2003; Kaur et al., 2011) e *in vivo* (Ferrari et al., 2000).

No entanto, a restauração de dentes tratados endodonticamente com necessidade de retenção intra canal é mais complicada quando o canal encontra-se fragilizado (Erkut et al., 2004, Yoldas et al., 2005), pois pinos de fibra adaptam-se imprecisamente no canal e núcleos metálicos fundidos têm o efeito cunha acentuado (Newman et al., 2003).

Assim, por meio da análise de sobrevida e resistência à fratura, buscou-se avaliar raízes fragilizadas restauradas com diferentes retentores intrarradiculares.

**ARTIGO – ANÁLISE DE SOBREVIDA E RESISTÊNCIA À FRATURA
DE RAÍZES FRAGILIZADAS RESTAURADAS COM PINOS
INTRARRADICULARES**

Este artigo será submetido à publicação no periódico *Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Elsevier, ISSN 1751-6161.

Análise de sobrevida e resistência à fratura de raízes fragilizadas restauradas com diferentes pinos intrarradiculares.

Vinícius F. Wandscher^a, Ariele Oliveira^a, César D. Bergoli^b, Inácio F. Limberger^c, Thiago Ardenghi^a, Luiz Felipe Valandro^a

^a Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas, Universidade Federal de Santa Maria.

Endereço: Marechal Floriano Peixoto 1184 3º andar, sala 310, centro, Santa Maria, RS. CEP 97015-372.

^b Programa de Pós-Graduação em Odontologia Restauradora, Universidade Estadual Paulista, São José dos Campos, SP

Endereço: Eng. Francisco José Longo 777, Jardim São Dimas, São José dos Campos, SP. CEP 12245-000

^c Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria.

Endereço: Av. Roraima 1000, Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria, RS CEP 97105-900

Autor correspondente:

Luiz Felipe Valandro

Marechal Floriano Peixoto 1184, centro, 3º andar, sala 310

Telefone: 0xx55 3220-9210 / 0xx55 3220-9287

E-mail: lfvalandro@gmail.com.br

Resumo

Elementos dentais com grande perda coronária geralmente necessitam de ancoragem intrarradicular para reter o material de reconstrução coronária. A restauração destes elementos dentais torna-se mais complicada quando o canal é excessivamente alargado. Diante disto avaliamos a sobrevida e a resistência à fratura de raízes fragilizadas restauradas com diferentes pinos intrarradiculares. 80 incisivos bovinos seccionados em 16 mm foram preparados em 10 mm com a broca do sistema de pinos. A fragilização foi realizada em 50 espécimes (0,05 mm de espessura até 6 mm intra-canal). O ligamento periodontal foi simulado com material elastomérico. Para isso as raízes foram imersas em cera 7 (70°C) até 3 mm coronários criando uma espessura de cera de 0,3 mm. Após o embutimento em cilindros de PVC com resina acrílica ativada quimicamente, as raízes foram removidas e a cera retirada para que o material de moldagem ocupasse o espaço criado pela cera. Os retentores utilizados foram: núcleo metálico fundido em liga nobre (NMF-LN fragilizado, FRAG e não fragilizado, NFRAG), núcleo metálico fundido em liga não nobre (NMF-LNN FRAG e NFRAG), pino de fibra de vidro (PFV FRAG NFRAG), pino de fibra de vidro especial para canais alargados (PFV-E FRAG) e pino anatômico (PA FRAG). Os espécimes foram submetidos à ciclagem mecânica (45°, 37°C, 130N e $1,5 \times 10^6$ ciclos) e avaliados em intervalos de 5×10^4 ciclos pelo método de Kaplan Meier quanto à presença do desfecho trinca. Os espécimes que sobreviveram à ciclagem foram submetidos ao teste de resistência à fratura (45°, 1mm/min). Para a análise de sobrevida, a estratégia PFV-E apresentou sobrevida superior às estratégias NMF. Quanto à resistência à fratura, ANOVA 1 fator e Tukey ($p=0,05$) mostrou diferença apenas entre as raízes fragilizadas ($p=0,000$). Raízes restauradas com NMF apresentaram resistência superior às demais estratégias. Além de as raízes fragilizadas serem propensas a falhas catastróficas, as raízes não fragilizadas podem ser restauradas com qualquer tipo de retentor.

Palavras-chave: ciclagem mecânica, análise de sobrevivência, resistência à fratura, pinos intrarradiculares

1. INTRODUÇÃO

A reconstrução de dentes tratados endodonticamente é um dos desafios da Odontologia Restauradora, pois geralmente a coroa dentária se encontra perdida devido à cárie, erosão, abrasão, restaurações anteriores, traumas e devido ao acesso endodôntico.

Assim, as duas funções primordiais do retentor intracanal são: (1) prover retenção para a porção coronária, a qual irá substituir a estrutura da coroa perdida (Trope et al., 1985; Mitsui et al., 2004) e (2) transmitir o mínimo de tensões para a estrutura dental, de tal forma a prevenir a fratura radicular (de Castro-Albuquerque et al., 2003; Lanza et al., 2005; Coelho et al., 2009).

O módulo de elasticidade (E) dos materiais é um dos fatores que modulam o nível de tensões na estrutura restaurada, à medida que confere a qualidade e o grau de transferência de tensões para a estrutura dental remanescente (Asmussen et al., 2005; Baldissara, 2003; Coelho et al., 2009; Lanza et al., 2005). O E ideal para um retentor deve ser o mais semelhante possível à dentina, no entanto, diversos materiais com diferentes módulos de elasticidade, podem ser indicados como retentores (E de ligas metálicas nobres = 90 GPa; E titânio = 190 GPa; E fibra de vidro = 20-40 GPa; E compósitos = 5-25 GPa; E fibra de polietileno = 2-3 GPa) (Baldissara, 2003; Ferracane et al., 2005). Pinos de fibra podem sofrer flexão quando submetidos a altas cargas, acarretando a falha da restauração. No entanto, eles muito dificilmente geram a perda do elemento dental, apresentando um tipo de fratura capaz de reparação (Fokkinga et al., 2005; Stricker e Göhring, 2006). Sendo assim, os pinos de fibras absorvem parte da tensão e a redistribuem homogeneamente ao longo da raiz, minimizando a concentração das tensões e prevenindo a fratura radicular (Lanza et al., 2005; Coelho et al., 2009; Spazzin et al., 2009; Mezzomo et al., 2011).

A concentração de tensões tem sido relacionada com os retentores fundidos (metálicos ou cerâmicos) e com os pinos pré-fabricados metálicos e cerâmicos a base de óxido de zircônio, por apresentarem E maior que o da dentina (~200 GPa) (Baldissara, 2003; Pierrisnard et al., 2002; de Castro-Albuquerque et al., 2003; Lanza et al., 2005; Coelho et al., 2009). Essa concentração de tensão é apontada como a principal responsável pelas fraturas catastróficas geradas por esses tipos de

retentores, como mostram estudos *in vitro* e *in vivo* (Ferrari et al., 2000; Pegoretti et al., 2002; Bonfante et al., 2007; Sahafi et al., 2004; Sahafi et al., 2005; Omiri et al., 2010; Silva et al., 2011; Kaur et al., 2011).

A restauração de dentes tratados endodonticamente torna-se mais complicada se o canal é excessivamente fragilizado, em função da perda de dentina intrarradicular e ausência da parte coronária (Erkut et al., 2004; Yoldas et al., 2005). Nesses casos, a estrutura suporta menor força durante a função mastigatória (Naumann et al., 2006; Zogheib et al., 2008; Kivanç et al., 2009), tendo um risco mais alto de fratura com menor força e altamente sujeitas a falhas catastróficas (Fukui et al., 2009).

Sendo assim, em canais alargados, núcleos metálicos fundidos acentuam o efeito de cunha, e pinos pré-fabricados adaptam-se imprecisamente, o que requer quantidade excessiva de cimento para substituir a estrutura perdida (Kimmel, 2000; Newman et al., 2003). Vários materiais têm sido associados a pinos de fibra para restaurar raízes fragilizadas, entre eles fitas de fibras, pinos acessórios (Bonfante et al., 2007) e resinas compostas, alcançando resultados favoráveis tanto para resistência adesiva quanto para resistência à fratura e falhas passíveis de reparo em ambiente *in vitro* (Yoldas et al., 2005; Clavijo et al., 2009; Faria-e-Silva et al., 2009; Macedo et al., 2010; Aggarwal et al., 2012). Esses estudos demonstraram que, através do reembasamento de pinos de fibra pré-fabricados com resina composta, pode-se confeccionar um “pino anatômico”, diminuindo a espessura de cimento e favorecendo a resistência mecânica do complexo restaurador (Grandini et al., 2003; Clavijo et al., 2006).

O comportamento de raízes restauradas com retentores com diferentes E pode ter diferentes desfechos diante de cargas cíclicas. Nesse sentido a ciclagem mecânica tem sido utilizada para avaliação de possíveis desfechos, levando em consideração diferentes cenários (Rosentritt et al., 2000; Heydecke et al., 2002; Dietschi et al., 2006). Embora considerando as limitações de estudos *in vitro*, os testes de fadiga mecânica realizados em ambiente úmido constituem-se em um método para predizer o comportamento clínico de diferentes materiais e técnicas restauradoras, reproduzindo, por exemplo, os efeitos dos diferentes E de materiais restauradores sobre o conjunto dente-restauração. Fadiga é um tipo de teste que

pode levar à fratura de uma estrutura depois de repetidas cargas e pode ser explicada pela propagação de trincas microscópicas a partir de áreas de concentração de tensão, normalmente em regiões de defeitos estruturais microscópicos ou moleculares. (Baldissara et al., 2006; Bottino et al., 2007; Scotti et al., 2006; Valandro et al., 2007).

Além disso, a análise de sobrevida pode ser utilizada para estimar e interpretar a função sobrevivência de um evento, bem como para comparar esta função entre grupos distintos e para avaliar a relação entre variáveis explicativas e o tempo de ocorrência do evento de interesse (Fávero et al., 2009). Alguns estudos clínicos têm utilizado esta técnica para avaliar terapias restauradoras para dentes tratados endodonticamente, considerando variáveis como tipo de canal, número de paredes remanescentes e tipos de retentores (Caplan et al., 2002; Wegner et al., 2006; Schmitter et al., 2007; Schmitter et al., 2011; Magne e Knezevic, 2009; Bitter et al., 2009; Piovesan et al., 2007; Signore et al., 2011; Zicari et al., 2011).

Em se tratando de estudos *in vitro*, essa análise pode ser aplicada para se avaliar a probabilidade de dentes restaurados sobreviverem a um determinado período de avaliação sob determinadas condições de teste (por exemplo, parâmetros de ciclagem mecânica). Dentro deste contexto, até o presente momento, há o desconhecimento de estudos que tenham avaliado *in vitro* a sobrevida de raízes fragilizadas, restauradas com diferentes retentores intrarradiculares, pelo método de Kaplan-Meier.

Assim, o presente estudo *in vitro* apresenta os seguintes objetivos: (1) avaliar a resistência à fratura de raízes não fragilizadas e fragilizadas restauradas com diferentes retentores intrarradiculares, após envelhecimento por ciclagem mecânica; (2) avaliar a sobrevida dos espécimes, pelo teste de Kaplan-Meier, após 1,5 milhão de ciclos; (3) avaliar a progressão de trincas a cada 50 mil ciclos para detecção de possíveis falhas (trincas/falhas).

Considerando os pressupostos científicos relativos ao tema em questão, as hipóteses de pesquisa foram: (1) raízes não fragilizadas restauradas com núcleos de fibra não apresentarão diferença nos valores de resistência à fratura em relação aos retentores metálicos fundidos; (2) raízes não fragilizadas apresentarão resistência superior às raízes fragilizadas independente da abordagem restauradora; (3) raízes

fragilizadas restauradas com núcleos fundidos apresentarão menores valores de resistência à fratura em relação aos retentores de fibra; (4) raízes não fragilizadas apresentarão sobrevida superior às raízes fragilizadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Seleção dos dentes

Oitenta (N=80) incisivos bovinos foram selecionados para o estudo. Inicialmente foram analisados com auxílio de uma lupa com aumento de 4x (EyeMag® Pro, Carl Zeiss do Brasil Ltda, São Paulo, Brasil) para detecção de possíveis falhas (fratura, fissura ou trinca) que pudessem comprometer os resultados. Após a seleção, as porções coronárias dos espécimes foram removidas padronizando em 16 mm o comprimento da raiz. Como critério de inclusão, as dimensões méso-distal e vestibulo-lingual da porção mais cervical das raízes foram medidas com um paquímetro digital (Starrett 727, Starrett Indústria e Comércio Ltda, Itu, Brasil) e somente os dentes que apresentassem valores entre 4 e 6 mm foram incluídos no estudo, a fim de padronizar o tamanho das raízes.

Após a obtenção dos espécimes, estes foram divididos aleatoriamente em dez grupos de acordo com a abordagem restauradora e presença de fragilização. Para a randomização, os espécimes foram numerados de 1 a 80 e oito sequências aleatórias de dez números foram geradas pelo programa de computador Random Allocator.

Todos os espécimes foram inicialmente preparados em 10 mm de comprimento com a broca #2 do sistema de pinos de fibra White Post DC (FGM, Joinville, Brasil) para que pudessemos obter o comprimento de cimentação do retentor. Nos grupos fragilizados o desgaste da dentina foi realizado com pontas diamantadas tronco-cônicas 4137 (KG Sorensen, Cotia, Brasil). A fragilização foi feita da porção mais coronária da raiz até 6 mm de profundidade, padronizando-se 0,5 mm a espessura de dentina coronária remanescente (Fig. 1A), com o objetivo de simularmos um cenário hostil para dentes tratados endodonticamente. A verificação do diâmetro de dentina remanescente foi controlada constantemente pelo uso de um paquímetro digital adaptado.

Todas as raízes foram revestidas por cera 7 (Lysanda, São Paulo, Brasil) liquefeita em um recipiente com temperatura padrão de 70°, até a espessura de 0,3 mm (aferida com um paquímetro digital) até 3 mm da porção mais coronária da raiz. Posteriormente, a broca do sistema de pinos foi inserida no conduto e acoplada a um paralelômetro (B2, BioArt, São Carlos, Brasil), mantendo o conjunto dente e broca paralelo ao eixo y. O embutimento em cilindros de PVC (h: 20 mm, Ø: 12 mm) foi realizado com resina acrílica autopolimerizável até 3 mm da porção mais coronária da raiz (VIPI Flash, VIPI, Pirassununga, Brasil).

Após a polimerização da resina, o dente e a cera foram removidos do espaço criado e o material elastomérico (Impregum F, 3M-Espe, Seefeld, Germany) inserido no “falso alvéolo”, o dente reposicionado no PVC e após a presa do material os excessos do elastômero foram removidos com bisturi (Soares et al, 2005).

2.2 Confeção e Cimentação dos Retentores Intrarradiculares:

2.2.1 Núcleos Metálicos Fundidos em Liga de Ouro e Ni-Cr

Para os grupos restaurados com núcleos metálicos fundidos, um modelo foi confeccionado em resina Duralay (Reliance Dental Mfg. Co, Worth, Ill.). Para isso, o interior radicular foi vaselinado (Vaselina sólida, Laboratório Tayuyna Ltda, Nova Odessa, Brasil) e a resina aplicada com auxílio de um pincel fino (Pincel pêlo de Marta, Dencril, Pirassununga, Brasil) e pinos plásticos pré-fabricados (Pinjet, Ângelus, Londrina, Brasil), a fim de moldar toda a extensão do preparo realizado (10 mm). O núcleo coronário foi padronizado com a utilização de matrizes plásticas. Os padrões em resina foram enviados a um laboratório comercial para a fundição das ligas La Croix 2 (La Croix Ligas Dentais, Rio de Janeiro, Brasil) e Wironia Light (Wironia Light, Bego, Bremen, Alemanha), a qual ocorreu conforme recomendações do fabricante.

Os NMF foram avaliados quanto à adaptação e cimentados com cimento resinoso (AllCem, FGM, Joinville, Brasil). Como tratamento de superfície, o pino foi limpo com álcool isopropílico e sua porção radicular jateada com partículas de óxido de alumínio (110 µm, pressão: 2.8 bars, 10 mm de distância e 15 segundos). Para a cimentação, foi realizado o condicionamento da dentina radicular com ácido fosfórico a 37% (Condac 37, FGM, Joinville, Brasil) por 15s, limpeza do conduto com água por 15s, secagem do conduto com cones de papel #80 (Dentsply Indústria e Comércio

Ltda, Petrópolis, Brasil), aplicação do sistema adesivo com microbrush (Ambar, FGM, Joinville, Brasil), remoção do excesso de adesivo com cones de papel e foto-ativação por 20s com LED de alta potência (RadiiCal, SDI, Austrália). As pastas do cimento resinoso foram manipuladas e inseridas nos canais com broca Lentulo #40 (Dentsply Maillefer, Catanduva, Brasil). Os pinos foram posicionados, o excesso de cimento foi removido com microbrush e a foto-ativação realizada na porção cervical da raiz por 10s em cada face. Os espécimes foram armazenados em água destilada a 37°C por 24 horas antes da realização da ciclagem mecânica.

2.2.2 Pinos de Fibra Pré-Fabricados Convencionais

Os pinos de fibra #2 (White Post DC, FGM, Joinville, Brasil) foram posicionados no canal e seccionados mantendo 5 mm de porção coronária. Os canais radiculares foram secos com cones de papel, o pino limpo com álcool isopropílico e o condicionamento da superfície realizado com agente de união silano (Prosil, FGM, Joinville, Brazil). A cimentação foi realizada da mesma maneira que para os grupos com NMF.

Após a cimentação dos pinos, a construção do núcleo foi realizada com resina composta (Oppalis, FGM, Joinville, Brasil), utilizando matrizes plásticas padronizadas idênticas às utilizadas para os NMF's. A resina foi inserida dentro da matriz, a qual foi posicionada sobre o pino e a superfície do dente. A foto-ativação foi executada por 20s em cada face e as matrizes removidas com auxílio de bisturi. Os espécimes também foram armazenados em água destilada (37°C) por 24 horas antes da realização da ciclagem mecânica.

2.2.3 Pinos de Fibra Pré-Fabricados Especiais

O pino utilizado para esse grupo foi o Duplo Cônico Especial (DCE) #2 (White Post DC, FGM, Joinville, Brasil). A confecção dos corpos de prova foi idêntica aos grupos PFV. Esses pinos são considerados “especiais” devido ao seu maior diâmetro cervical, sendo recomendados para raízes com canais alargados.

2.2.4 Pinos Anatômicos

Para esse grupo foram utilizados pinos #2 (White Post DC, FGM, Joinville, Brasil). O tratamento de superfície dos pinos foi idêntico ao realizado nos demais grupos restaurados com pinos de fibra.

No interior do canal radicular inicialmente foi aplicada uma camada de vaselina (sólida) a fim de evitar a união da resina composta às paredes do conduto. A seguir, a resina composta (Oppalis, FGM, Joinville, Brasil) foi condensada no interior do conduto, o pino posicionado e o conjunto foto-ativado por 20s na superfície oclusal. Após a foto-ativação, o conjunto foi removido do conduto, foto-ativado por mais 40s e reinserido para verificação da adaptação da peça. Para o procedimento de cimentação, o conjunto pino/resina composta foi condicionado com ácido fosfórico a 37% por 60s, limpo com água destilada por 15s e seco com papel absorvente. A seguir, foi aplicado o sistema adesivo, homogeneizada a película do material com jatos de ar e realizada a foto-ativação do conjunto por 40s. O tratamento da dentina intrarradicular, inserção do cimento no conduto e reconstrução coronária foram idênticos às realizadas nos demais grupos restaurados com pinos de fibra.

2.3 Confeção e cimentação de coroas totais metálicas

Oitenta coroas foram confeccionadas de acordo com a anatomia de um canino superior. Para tal procedimento realizou-se a moldagem dos corpos de prova com silicone de adição para duplicação em laboratório (Elite Double 8, Zhermack, Rovigo, Itália) de acordo com as recomendações do fabricante e vazamento com gesso pedra tipo IV (Durone, Dentsply, Indústria e Comércio Ltda, Petrópolis, Brasil). Por meio dos troqueis as coroas foram confeccionadas em cera (Newwax, Technew, Campo Grande, Brasil) com auxílio de matrizes plásticas padronizadas. As matrizes foram removidas e a adaptação marginal realizada com instrumento Hollembach. As coroas em cera foram enviadas para um laboratório comercial e fundidas em liga não nobre (Wironia Light, Bego, Bremen, Alemanha) de acordo com o fabricante.

As coroas foram examinadas quanto à adaptação, jateadas com óxido de alumínio (partículas de 110 µm) (Blue Equipamentos, São José do Rio Preto, Brasil) e cimentadas com cimento resinoso seguindo as normas para tratamento de dentina citadas anteriormente. Para a cimentação foi aplicada uma carga de 5 kg sobre a coroa na prensa estática e os excessos de cimento foram removidos após 10 minutos.

2.4 Ciclagem mecânica

Para a ciclagem mecânica, os espécimes foram submetidos ao seguinte protocolo: ângulo de 45° em relação ao longo eixo da raiz, imersão em água (\pm

37°C), pulsos de carga de 0 N a 130 N, frequência de 2,2 Hz e 1.500.000 de pulsos de carga sobre a coroa a um ponto situado 2 mm abaixo da borda incisal lingual. Segundo Wiskott et al. (1995), 1 milhão de ciclos equivalem a um ano de serviço clínico, portanto através deste cálculo o presente trabalho simulou aproximadamente 1 ano e meio de serviço clínico.

Para a análise de sobrevida, as raízes foram avaliadas apenas quanto à presença do desfecho “trinca”. Todas as raízes foram aferidas a cada 50.000 ciclos por um operador previamente calibrado. Uma vez apresentando o desfecho, o espécime era monitorado com uma ficha de sobrevida quanto ao tempo e tamanho aproximado da falha. A avaliação da falha, nos intervalos supracitados, foi realizada com uma lupa de 4x de aumento. O modo da falha final foi observado com auxílio de um estereomicroscópio (Discovery V20, Carl Zeiss, Alemanha).

Os espécimes que sobreviveram à ciclagem mecânica foram submetidos ao teste monotônico de resistência à fratura e posterior análise de falha.

2.5 Teste de resistência à fratura

Cada espécime foi posicionado em um dispositivo alinhado a um ângulo de 45° em relação ao longo eixo do dente. Uma máquina universal de testes (DL-1000, Emic, São José dos Pinhais, Brasil) foi usada para aplicar uma carga constante à velocidade de 1 mm/min até a falha. O limiar de falha foi definido como um ponto em que a força (N) alcançou um valor máximo pela fratura da raiz, curvatura do pino, ou descolamento do conjunto núcleo-pino.

2.6 Análise de falha

As falhas que ocorreram durante os testes foram classificadas em favoráveis (acima do limite ósseo simulado de 3 mm) e desfavoráveis (abaixo do limite ósseo simulado de 3 mm). Para tal análise, as raízes foram coradas com canetas hidrográficas (Marcador de retroprojeter azul, Faber-Castell, São Carlos, Brasil) e com um algodão e álcool 70° a tinta foi removida para visualização das fraturas. O procedimento foi realizado antes e após o teste de resistência à fratura.

2.7 Análise estatística

Tendo em vista que toda falha final parte de uma falha inicial, eventos como fratura radicular foram aferidos como evento “trinca”. Falhas como descimentação do

pino e desadaptação marginal, quando não associadas a trincas radiculares, não foram consideradas desfechos.

As taxas de sobrevida foram estimadas com a técnica de Kaplan-Meier, utilizando o programa STATA 12.0 (Stata Corporation, College Station, TX, USA). As diferenças entre as taxas de sobrevivência de acordo com os grupos de estudos foram analisadas com o teste log-rank ($p \leq 0,05$).

As abordagens para comparação estatística foram realizadas da seguinte maneira: raízes fragilizadas X não fragilizadas para o mesmo retentor, fragilizadas X fragilizadas e não fragilizadas X não fragilizadas.

Para a resistência à fratura os valores de cada grupo foram submetidos ao teste ANOVA 1-fator e Tukey ($p < 0,05$). Para tal análise, compararam-se: raízes NFRAG entre si, raízes FRAG entre si e por meio do teste t estudent ($p < 0,05$) raízes FRAG X NFRAG para mesmos retentores.

3. RESULTADOS

3.1 Ciclagem mecânica: análise descritiva e sobrevida (Método de Kaplan-Meier)

Observou-se uma porcentagem de espécimes sem fraturas após a ciclagem mecânica de 91%. Nas raízes fragilizadas, 90% (45 de 50 espécimes) não apresentaram falhas após 1,5 milhão de ciclos, no entanto 2 falhas ocorreram no grupo PFV (50.000 e 100.000 ciclos), 1 falha no grupo NMF-LN (700.000) e 2 falhas no grupo PA (150.000 e 1.150.000). Nos grupos não fragilizados, 93% (28 de 30) dos espécimes não apresentaram falha após a ciclagem mecânica e 2 falhas ocorreram no grupo PFV (50.000 e 110.000). As falhas durante a ciclagem mecânica estão presentes na tabela 2.

Para a análise de sobrevida, 3 abordagens foram feitas:

- 1) Comparação entre os grupos de acordo com a condição da raiz - fragilizada ou não fragilizada (Figura 2): a análise de KM não mostrou diferença entre as duas condições (Log-Rank teste; $p = 0,09$). No entanto, a taxa de sobrevida foi de 0,43 (EP= 0,09) para raízes não fragilizadas e de 0,23 (EP=0,07) para

raízes fragilizadas, ou seja, a probabilidade das raízes fragilizadas ultrapassarem 1,5 milhão de ciclos sem apresentarem trincas (evento/desfecho primário) foi de 23%, enquanto que a probabilidade das raízes não fragilizadas foi de 43%. A mediana de sobrevida para raízes fragilizadas foi de 350.000 ciclos (EP=205396). Já para as raízes não fragilizadas, a mediana foi 1.150.000 ciclos (EP: 273252).

- 2) Comparação de terapias restauradoras na condição “raiz fragilizada” (Figura 3): nota-se que as probabilidades de sobrevida das estratégias nesta condição são semelhantes. De modo geral, as estratégias utilizadas (NMF-LN, NMF-LNN, PFV, PFV-E e PA) não diferiram quanto às taxas de sobrevida estimadas durante o tempo de observação. Entretanto, as comparações post-hoc demonstraram que houve diferença somente entre os espécimes dos grupos PFV-E e NMF; espécimes do grupo PFV-E apresentaram uma maior sobrevida quando comparadas aos espécimes do grupo NMF (Log-Rank teste; $p=0,004$).
- 3) Comparação de terapias restauradoras na condição “raiz não fragilizada” (Figura 4): nota-se que as curvas de sobrevida das estratégias nesta condição são semelhantes (Log-Rank teste; $p=0,54$). As estratégias utilizadas (NMF-LN, NMF-LNN e PFV) não diferiram quanto às taxas de sobrevida estimadas durante o tempo de observação.

3.2 Resistência à fratura

Os espécimes que sobreviveram à ciclagem mecânica foram submetidos ao teste de resistência à fratura. A Tabela 1 apresenta os valores médios e respectivos desvios-padrão dos grupos de estudo, assim como a análise estatística inferencial.

Para os grupos com raízes não fragilizadas, a ANOVA 1-fator mostrou que a estratégia restauradora não foi significativa ($p=0,558$).

Para os grupos com raízes fragilizadas, a ANOVA 1-fator mostrou que a estratégia restauradora foi significativa ($p=0,000$).

O teste t de Student mostrou que as estratégias restauradoras, nas condições “fragilização” e “sem fragilização”, não diferiam estatisticamente (NMF-LN FRAG =

NMF-LN NFRAG, $p=0,135$; NMF-LNN FRAG = NMF-LNN NFRAG, $p=0,221$; PFV FRAG = PFV NFRAG, $p=0,120$).

3.3 Análise de falha

As falhas durante a ciclagem mecânica estão demonstradas na tabela 2 e na Figura 5 A-F.

Após o teste de resistência à fratura, as raízes não fragilizadas tiveram 39% de fraturas desfavoráveis (Tab. 3 e Fig. 6 A/D), enquanto que as fragilizadas tiveram 95% de fraturas desfavoráveis (Tab. 3 e Fig. 6 B/C).

Outro aspecto observado, tanto durante a ciclagem mecânica quanto após os testes de resistência à fratura, foi a localização das falhas, sendo 84% apresentadas como deslocamento da coroa, e nas superfícies mesial e distal das raízes em diferentes terços radiculares.

4. DISCUSSÃO

Os resultados avaliando raízes não fragilizadas mostraram que o tipo de retentor não influenciou os valores de resistência à fratura das raízes. Assim, os resultados de resistências à fratura das 3 estratégias restauradoras (NMF-LN, NMF-LNN, PFV) foram semelhantes entre si, aceitando a primeira hipótese de pesquisa. Tais resultados estão de acordo com os de Maccari et al. (2003); Mitsui et al. (2004) e Ni et al. (2011), que também não observaram diferenças entre pinos metálicos, cerâmicos e de fibras. Porém, contrastam com os de Özcan e Valandro, (2009) e Kaur et al. (2011), já que núcleos metálicos fundidos e pinos de titânio tiveram maiores valores de resistência à fratura em relação aos de fibra.

A discordância dos resultados do presente estudo com os achados de Özcan e Valandro (2009) pode estar associada ao não uso de coroas sobre os núcleos por esse estudo. Sem a proteção da coroa o núcleo fica mais suscetível à falha e a carga é transmitida diretamente para o conjunto pino/núcleo (Al-Omiri et al., 2010). Quanto aos resultados de Kaur et al. (2011), a discordância pode ser atribuída ao maior desgaste realizado pelos autores durante o preparo dos espécimes restaurados com núcleos metálicos fundidos, diferentemente do preparo mais

conservador realizado no presente estudo. Enquanto Kaur et al. (2011) fragilizaram seus espécimes, no presente estudo apenas a broca do sistema de pinos foi utilizada no preparo.

Trabalhos com elementos finitos mostraram que quanto maior o volume do retentor, maior a tensão concentrada na estrutura dental (de Castro-Albuquerque et al., 2003; Coelho et al., 2009). Esse maior volume do retentor e conseqüentemente a maior concentração de tensões podem ter sido os responsáveis pela geração do “efeito cunha” e pelas falhas desfavoráveis de Kaur et al. (2011) (Sahafi et al., 2004; Sahafi et al., 2005; Coelho et al., 2009), diferentemente do presente trabalho, em que foi preservada a estrutura dental, ocorrendo o predomínio de falhas favoráveis (Trope et al., 1985; Assif e Gorfil, 1994; Maccari et al., 2003; Kishen et al., 2004; Pereira et al., 2006; Pereira et al., 2009).

A respeito das raízes fragilizadas, observou-se que os grupos com núcleos metálicos fundidos tiveram valores médios maiores de resistência à fratura que os grupos restaurados com pinos de fibra (Tabela 1), rejeitando a terceira hipótese do estudo.

Estes resultados concordam parcialmente com os de Silva et al. (2011), já que os valores de resistência à fratura para pinos de fibra foram similares entre si, porém discordam quanto às raízes com núcleos metálicos fundidos. Enquanto Silva et al. (2011), observaram menores valores de resistência à fratura dos espécimes fragilizados restaurados com núcleos fundidos, no presente estudo observaram-se maiores valores para o cenário semelhante, fato que pode estar associado à maior profundidade de fragilização das raízes de Silva et al. (2011), que mantiveram 1 mm de espessura de dentina remanescente até o comprimento de 9 mm intracanal. Estudos envolvendo raízes com um elevado grau de fragilização (Bonfante et al., 2007; Martelli et al., 2008; Clavijo et al., 2009; Fukui et al., 2009; Aggarwal et al., 2012) restauradas com núcleos metálicos fundidos apresentaram resultados similares ao presente estudo quanto à resistência à fratura e ao predomínio de falhas desfavoráveis. Núcleos metálicos fundidos apresentaram valores de resistência à fratura e falhas desfavoráveis superiores aos demais grupos restaurados com pinos de fibra e pinos de fibra associados a materiais compatíveis à dentina (resina composta, pinos acessórios, fitas de fibra).

Quando raízes são restauradas com pinos de fibras ou pinos de fibra associados a materiais compatíveis à dentina, observou-se uma distribuição mais homogênea de tensões na estrutura dental em relação aos núcleos metálicos fundidos (de Castro-Albuquerque et al., 2003; Coelho et al., 2009; Spazzin et al., 2009; Mezzomo et al., 2011). Muito embora as tensões em raízes com pinos de fibra estejam evidentes no terço cervical (Pegoretti et al., 2002; Asmussen et al., 2005; Meira et al., 2009), a fragilização no presente estudo foi feita até 6 mm intrarradicular, o que favoreceu o alto índice de fraturas desfavoráveis.

Em se tratando de falhas em raízes fragilizadas, o presente estudo observou que 95% das fraturas foram desfavoráveis (45 de um total de 47). As falhas favoráveis ocorreram em grupos restaurados com pinos de fibra (PFV-E e PA). Bonfante et al. (2007), obtiveram um maior índice de falhas favoráveis referente aos pinos de fibra e núcleos fundidos. Esta divergência pode estar associada à diferença de fragilização das raízes dos estudos. Enquanto o presente estudo manteve apenas 0,5 mm de parede dentinária em todas as dimensões, Bonfante et al. (2007) mantiveram uma espessura variando entre 1,25 a 1,5 mm méso-distal e 2,25 a 2,5 mm vestibulo-lingual, ou seja, mais estrutura dentinária para suportar as cargas aplicadas.

Comparando as raízes fragilizadas e não fragilizadas para o mesmo retentor, o teste t ($p < 0,05$) não revelou diferença entre grupos FRAG ou NFRAG, rejeitando a segunda hipótese do estudo.

Nossos resultados estão parcialmente de acordo com Silva et al. (2011), no que tange a comparação das raízes fragilizadas e não fragilizadas para a estratégia pinos de fibra de vidro (semelhantes). No entanto, o presente estudo discorda quanto à estratégia NMF-LNN, visto que Silva et al. (2011), observaram valores médios de resistência à fratura superiores para raízes não fragilizadas restauradas com pinos fundidos em relação às raízes fragilizadas.

Apesar de o teste t não ter demonstrado diferença entre os grupos, a análise de falha mostrou predomínio de fraturas desfavoráveis nas raízes fragilizadas em comparação com as raízes não fragilizadas, situação também observada em outros estudos (Bonfante et al., 2007; Silva et al., 2011; Maccari et al., 2003) e explicada acima no que se refere à preservação da estrutura dental ainda mais acentuada com

o efeito f rula (Assif e Gorfil, 1994; Pereira et al., 2006; Pereira et al., 2009; Omiri et al., 2010).

No que diz respeito   análise de sobrevida deste estudo, os achados mostraram que raízes fragilizadas e não fragilizadas (Fig. 2) não foram diferentes estatisticamente entre si, rejeitando-se a quarta hipótese do estudo. Por outro lado, as estratégias restauradoras na condi o não fragilizada (Fig. 4) foram semelhantes entre si. Na condi o das raízes fragilizadas (Fig. 3), a estimativa de sobrevida foi mais alta para a estratégia PFV-E, comparada estratégias NMF (LN e LNN). A discussão desses resultados foi baseada em estudos de resistência à fratura e análise de elementos finitos, uma vez que se desconhece a existência de pesquisas *in vitro* utilizando a estimativa de sobrevida para analisar raízes restauradas com retentores intrarradiculares fragilizadas e não fragilizadas.

Estudos mostram que dentes fragilizados restaurados com retentores com módulo de elasticidade semelhante à dentina apresentam distribui o de tensões mais homogênea na estrutura dental, gerando fraturas favoráveis em compara o a retentores rígidos (de Castro-Albuquerque et al., 2009, Coelho et al, 2009, Meira et al., 2011, Mezzomo et al., 2011, Spazzin et al., 2009). Seguindo esse pensamento, Akkayan et al. (2002), Maccari et al. (2003), Bonfante et al. (2007), Kivanç et al. (2009) e Silva et al. (2011) demonstraram, após testes de resistência à fratura, alto percentual de falhas catastróficas para retentores rígidos (metálicos e cerâmicos) comparados a retentores pré-fabricados de fibras, suportando os achados referentes a estratégia PFV-E X NMF.

Quanto ao padrão de falha obtido nas raízes FRAG e NFRAG, pode-se observar segundo a tabela 2 que as fraturas concentraram-se nas superfícies mesial e distal. Para avaliar os efeitos de uma carga aplicada em um ângulo de 45 , precisa-se compreender que essa força é resultante de um conjunto de forças formado por duas componentes que somadas d o origem   força original de 45 . Assim, por meio da Lei do Paralelogramo (Beer e Johnston, 1991), decompondo-se essa força em vetores dentro de um eixo cartesiano, obt m-se uma componente cartesiana F_x e uma componente cartesiana F_y (Fig. 7A).

Em rela o   atua o das componentes F_x e F_y , a componente F_x exerce força axial produzindo carregamento compressivo na estrutura, gerando tensões

uniformemente distribuídas na seção transversal (Fig.7B). Já a componente F_y exerce carregamento transversal levando à flexão da estrutura, produzindo tensões normais de tração e compressão (Fig. 7C). A força F_y produz ainda uma tensão de cisalhamento em planos paralelos ao eixo longitudinal que induz ao corte da estrutura (Fig. 8).

Em uma estrutura horizontal rígida fixa por uma de suas extremidades e com a componente F_y atuando na outra, ocorre a flexão deste corpo por meio de um momento, assim tensões de compressão surgem na superfície inferior e de tração na superfície superior. Essas tensões são máximas nas porções mais externas (superior e inferior) e nulas ao centro. O contrário ocorre com as tensões de cisalhamento que são máximas no centro, sobre a linha neutra da flexão e nulas nas porções externas, onde as tensões devido à flexão são máximas.

Em se tratando de um elemento dental restaurado com pinos intrarradiculares, enquanto F_x causa apenas tensões de compressão (Fig. 7B), F_y provoca tensões de tração na superfície lingual e compressão na superfície vestibular (Fig. 7C). Essas forças tornam-se nulas no centro do elemento dental, local onde o cisalhamento é máximo (Beer e Johnston, 1991). Como o pino é posicionado no canal radicular, ou seja, na área central do dente, esse não está sujeito a tensões de tração nem a tensões de compressão, porém está em uma zona de tensão de cisalhamento máxima. Essa zona de cisalhamento pode ser deslocada para a região onde o volume da estrutura é maior (Hibbeler, 2004). No caso deste estudo, utilizaram-se raízes bovinas com formato geométrico trapezoidal, com a base maior voltada para a face vestibular (Fig. 1B). Logo, a zona de cisalhamento estaria deslocada para a vestibular.

Tendo em vista essas informações, é possível acreditar que uma sequência de eventos possa acarretar a falha final predominante na maioria das falhas (modo de fratura méso-distal, tab. 3, fig. 5F). Em função da tensão de cisalhamento, pode ocorrer primeiramente a falha na interface adesiva (pino/dentina), o que leva à descimentação do complexo restaurador. Assim, o retentor passaria a estar “frouxo” no canal, deixando de ser uma estrutura única. A consequência desse fato faz com que a parede vestibular das raízes sofra mais alta tensão (compressão) comparada à parede lingual.

A associação de todos os fatores citados acima pode ter levado ao modo de fratura méso-distal mais próximo da vestibular das raízes testadas. Porém, é importante salientar que mais estudos devem ser feitos para confirmar essa hipótese de falha. O método de “strain gauges” pode ser uma metodologia utilizada para se obter informações a respeito, já que no que se refere a estudos *in vitro* avaliando a restauração de dentes tratados endodonticamente, em condições de fragilização deve-se ter muito cuidado na interpretação dos dados apresentados. Assim, cabe comentar sobre as limitações presentes neste estudo.

O carregamento cíclico de materiais pela ciclagem mecânica é o procedimento mecânico *in vitro* que mais se aproxima das condições reais de envelhecimento, porém ainda não consegue reproduzir completamente o ambiente *in vivo*. A ciclagem mecânica possui protocolos fixos de execução, tais como valor e direção de carga, umidade e temperatura, o que permite liberdade limitada ao operador de simular as condições reais *in vivo*. Assim, por meio de uma carga considerada pelos autores deste estudo de valor intermediário, porém não reproduzível *in vivo*, buscou-se o envelhecimento dos espécimes com o intuito de verificar o comportamento das restaurações dentro do período de avaliação, algo que talvez não fosse possível utilizando uma carga mais baixa de ciclagem.

O teste de resistência à fratura também possui limitações. A aplicação de uma carga até a falha da estrutura, valores altos de carregamento (irreais *in vivo*) e desvios-padrão elevados são apresentados em trabalhos envolvendo essa metodologia.

Posteriores estudos longitudinais para avaliação da sobrevida e/ou ensaios clínicos aleatorizados são necessários para melhor avaliar a previsibilidade e plausibilidade clínicas de terapias restauradoras para raízes fragilizadas.

5. CONCLUSÕES

- Para restauração de raízes não fragilizadas, as estratégias foram semelhantes entre si. Assim, raízes com ampla quantidade de tecido remanescente podem ser restauradas com os retentores utilizados neste estudo.

- Para raízes com amplo grau de fragilização, os núcleos metálicos fundidos (LN e LNN) promoveram maiores valores de resistência à fratura, porém um alto índice de fraturas desfavoráveis.
- Raízes fragilizadas estão muito suscetíveis a trincas e falhas catastróficas em relação a raízes não fragilizadas.

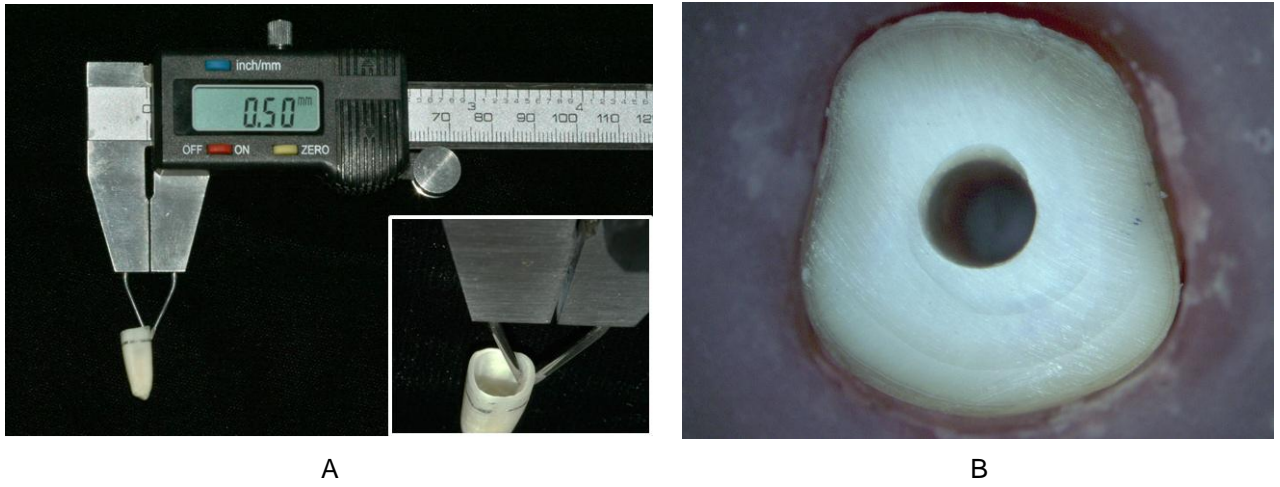


Figura 1. Imagens representativas das raízes: (A) fragilizadas e (B) não fragilizadas.

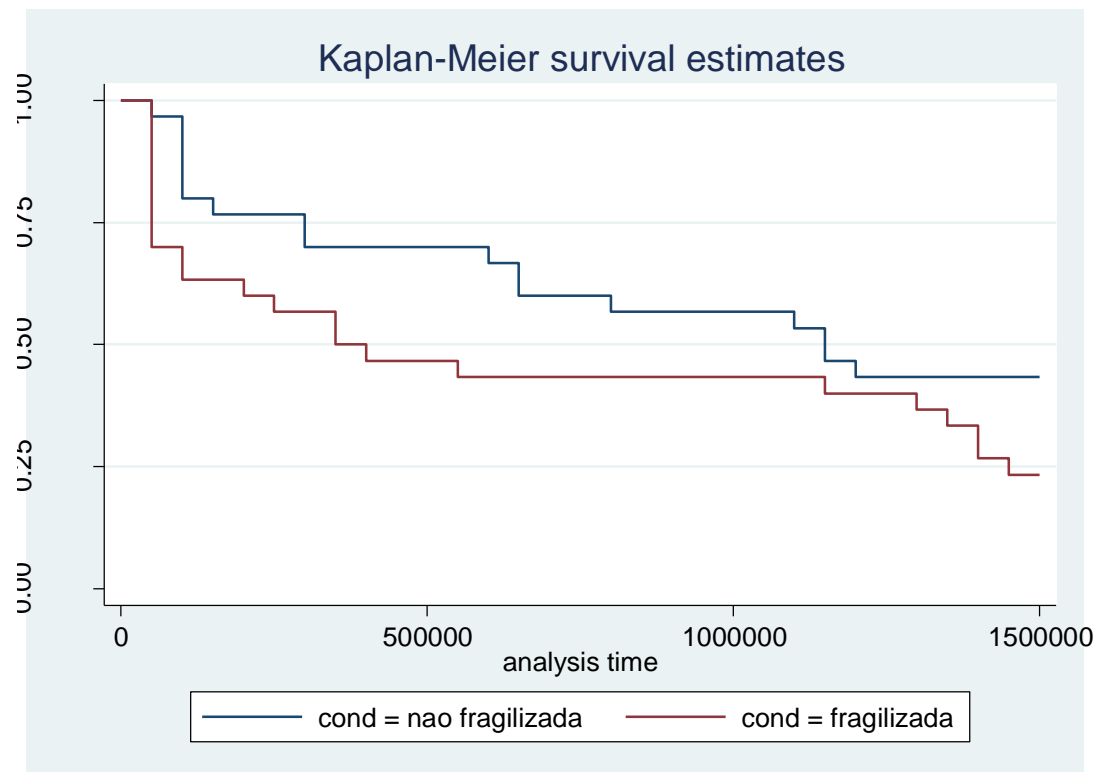


Figura 2. Curva de sobrevivência estimada pelo método Kaplan-Meier para ocorrência de trincas de acordo com condição da raiz.

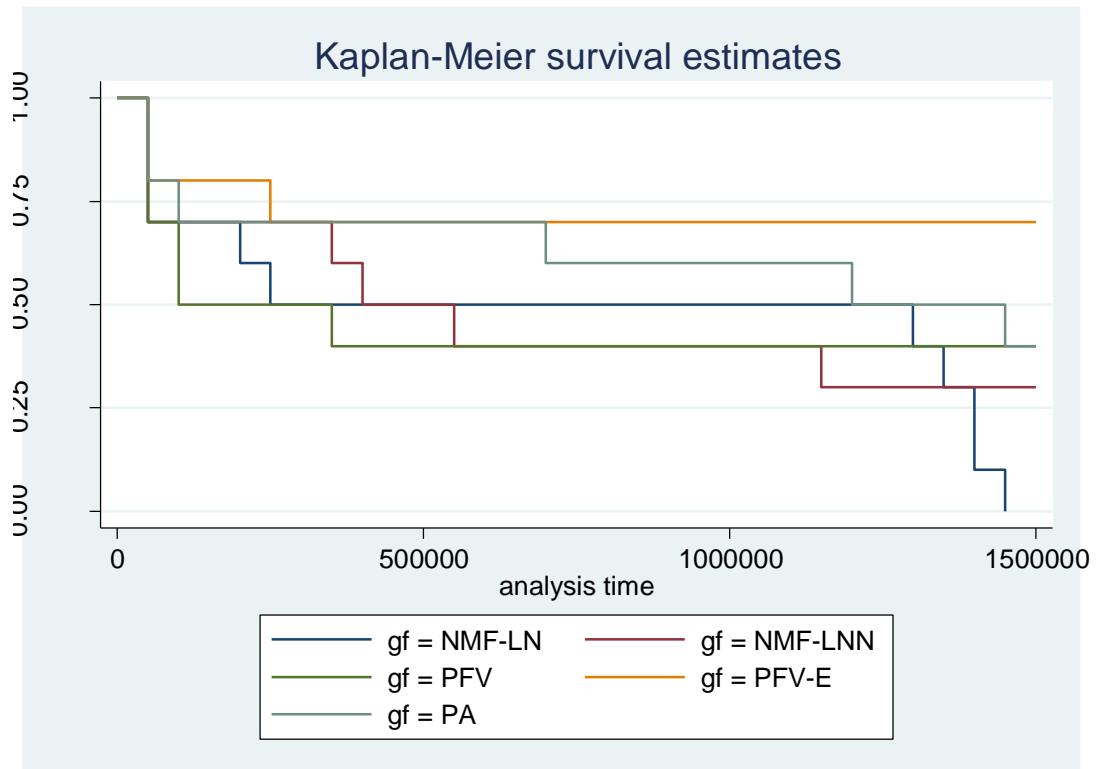


Figura 3. Curva de sobrevivência estimada pelo método Kaplan-Meier para ocorrência de trinca de acordo com tipo de estratégia (condição da raiz fragilizada).

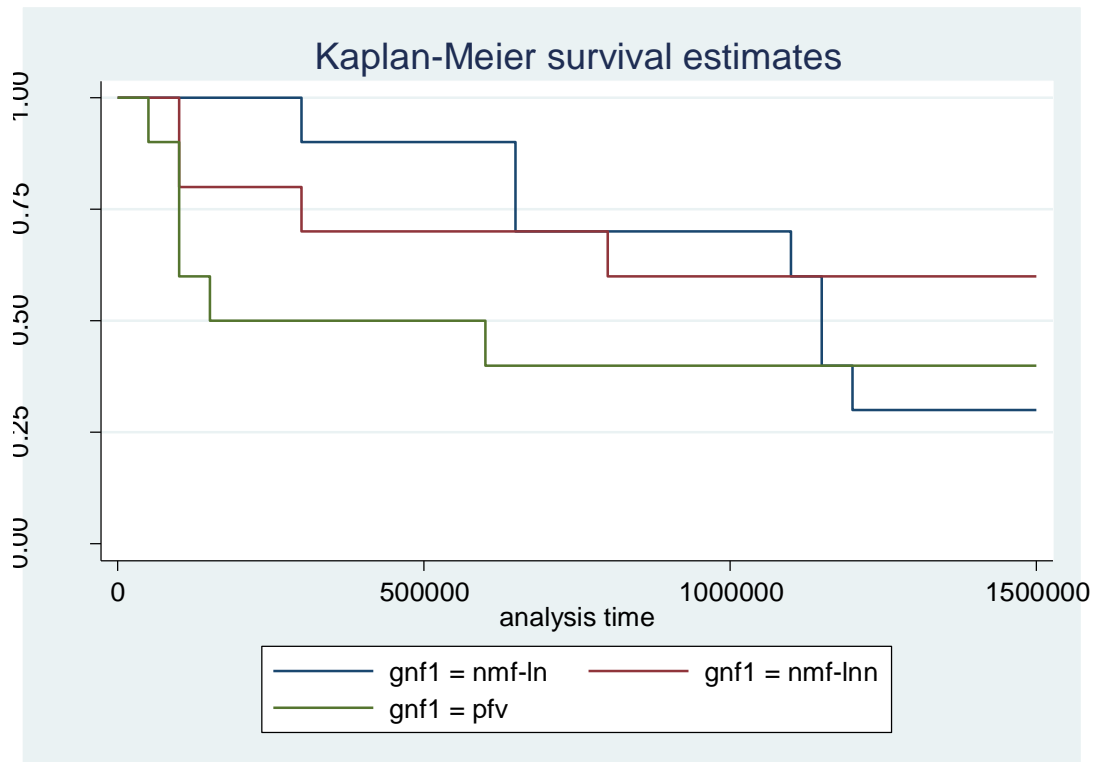


Figura 4. Curva de sobrevivência estimada pelo método Kaplan-Meier para ocorrência de trincas de acordo com tipo de estratégia (condição da raiz não-fragilizada).

Tabela 1. Média (\pm desvio padrão) dos dados de resistência à fratura (N) e teste de Tukey.

Estratégia	Fragilização	
	Sim	Não
	Média (Dp)	Média (Dp)
NMF-LN*	541,4 (227,4) ^{a, A}	459,3 (111,1) ^{a, A}
NMF-LNN**	642,6 (219,5) ^{a, A}	422,0 (151,9) ^{a, A}
PFV	282,2 (64,7) ^{a, B}	347,9 (91,8) ^{a, A}
PFV-E	274,1 (51,3) ^B	-
PA	216,6 (63,6) ^B	-

Letras minúsculas diferentes indicam diferenças entre tipo de fragilização

Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças entre estratégias de restauração;

*NMF-LN= Núcleo metálico fundido liga nobre; **NMF-LNN= Núcleo metálico fundido liga não nobre

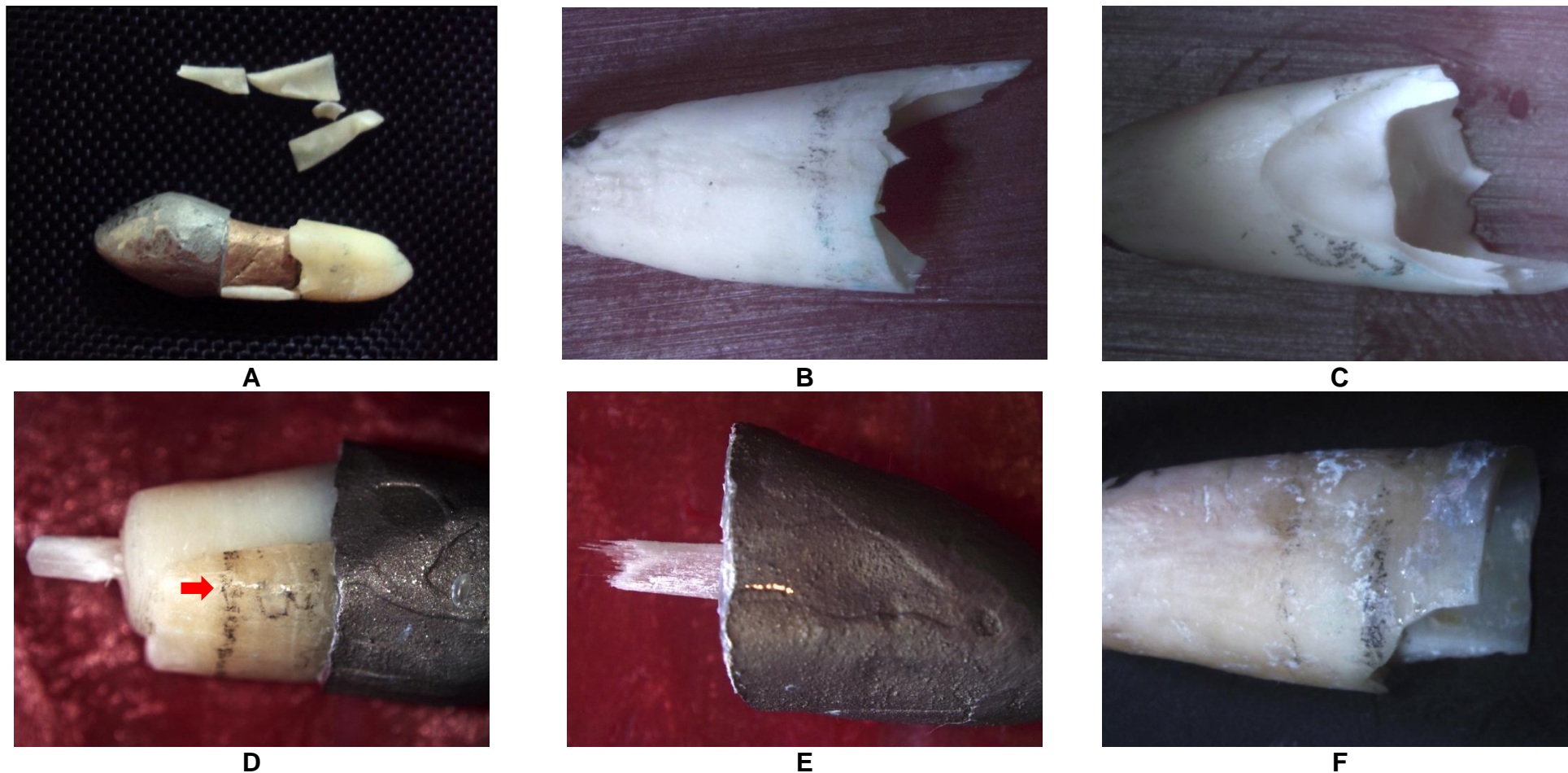


Figura 5. Imagens representativas das falhas ocorridas durante a ciclagem mecânica. (A) Fratura desfavorável NMF-LN FRAG. (B) Fratura desfavorável PFV FRAG.(C) PFV-FRAG vista vestibular. (D) PA: fratura desfavorável (a seta indica o limite ósseo simulado, 3 mm). (E) PA: fratura cervical pino/núcleo. (F) Fratura favorável

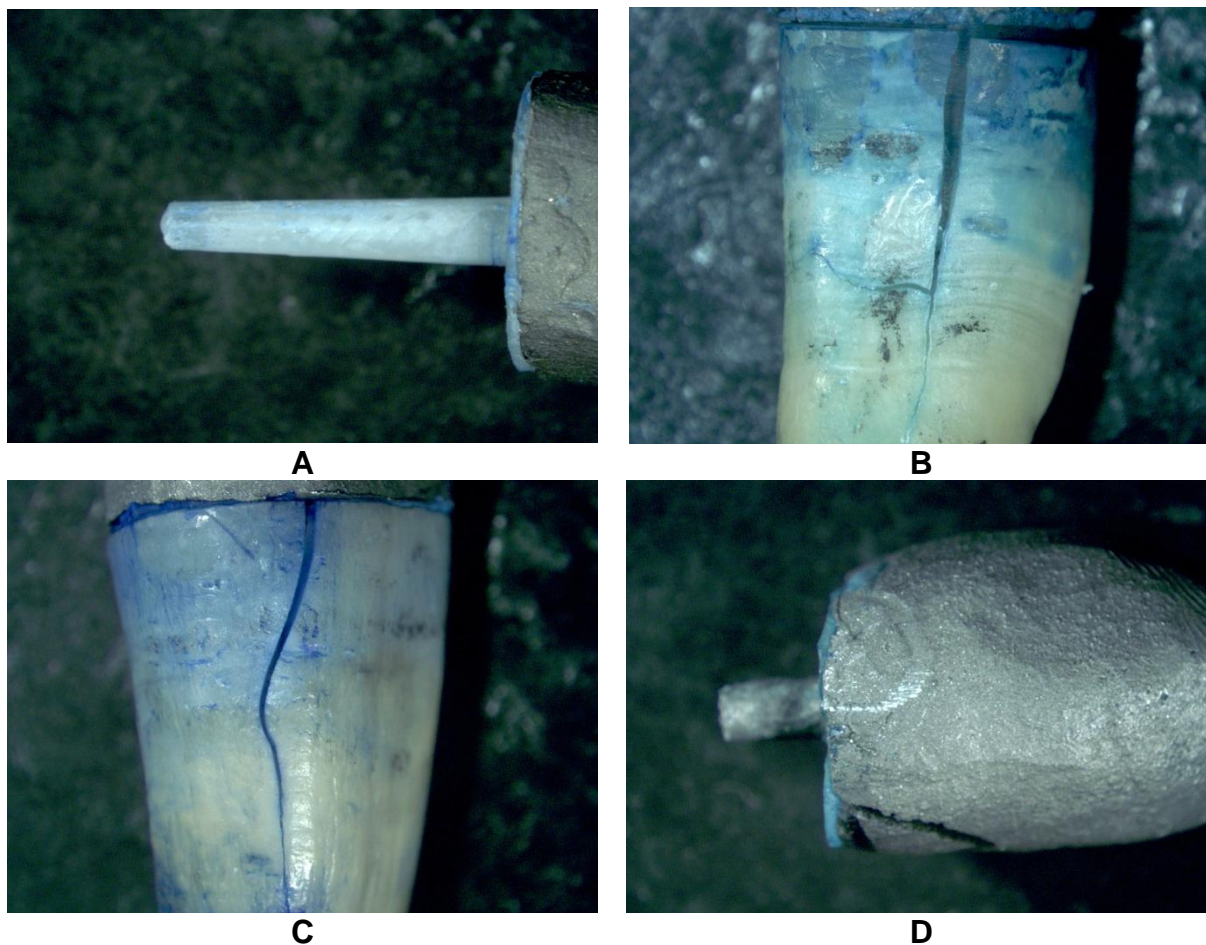


Figura 6. Imagens representativas das falhas ocorridas após o teste de resistência à fratura. (A) PFVNFRAG: decimentação pino/núcleo/coróa. (B) NMF-LN FRAG: trinca na superfície mesial. (C) PFV FRAG: trinca na superfície distal. (D) NMF-LNN NFRAG: fratura do pino.

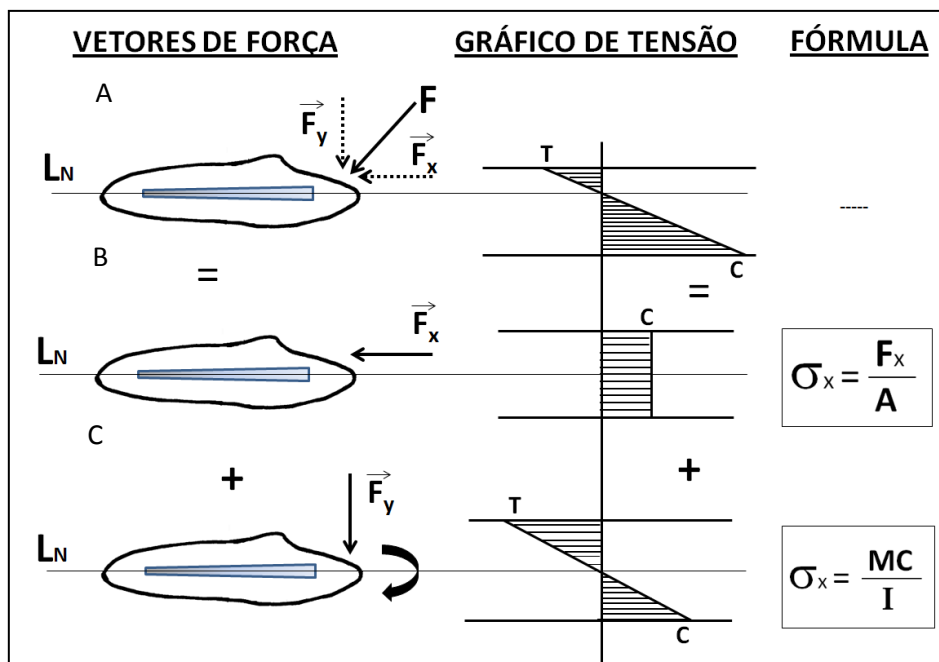


Figura 7. Representação gráfica das tensões normais. Vetores de força atuando na estrutura dental expressos pelos devidos gráficos de tensão e as respectivas fórmulas. **F** = força original em 45°, **F_x** = componente horizontal de **F**, **F_y** = componente vertical de **F**, **L_N** = linha neutra, **T** = tração, **C** = compressão, σ_x = tensão normal em **F_x**, **A** = secção de área, **M** = momento fletor, **C** da fórmula = distância da linha neutra até a fibra mais solicitada, **I** = momento de inércia da área.

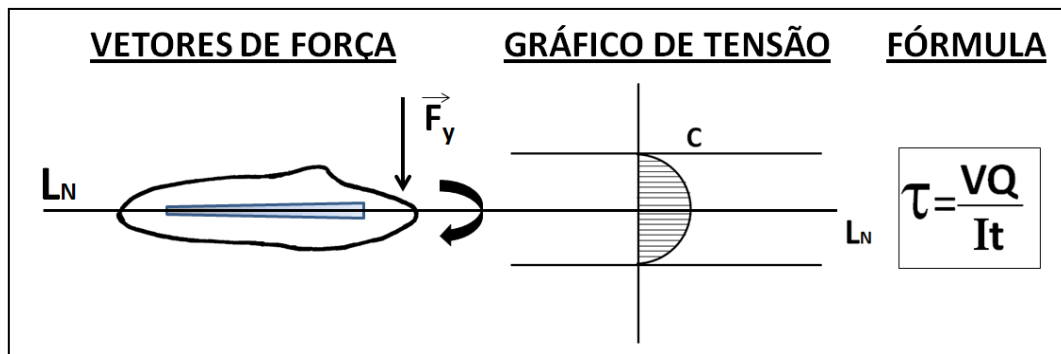


Figura 8. Representação gráfica da tensão de cisalhamento atuando na estrutura dental, expressa pelo gráfico de tensão e a respectiva fórmula. τ = tensão de cisalhamento, V = carga (neste caso, representada pelo valor de F_y), Q = momento estático da área, I = momento de inércia da área, t = espessura do plano de secção da área.

6. REFERÊNCIAS

- Aggarwal, V., Singla, M., Miglani, S., Kholi, S., 2012. Comparative evaluation of fracture resistance of structurally compromised canals restored with Different dowel methods. *J. Prosthodont.* 00, 1-5.
- Akkayan, B., Gülmez, T., 2002. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J. Prosthet. Dent.*, 87, 431-437.
- Al-Omiri, M.K., Mahmoud, A.A., Rayyan, M.R., Abu-Hammad, O., 2010. Fracture resistance of teeth restored with post-retained restorations: an overview. *J. Endod.* 36, 1439-49.
- Assif, D., Gorfil, C., 1994. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *J. Prosthet. Dent.* 71, 565-567.
- Asmussen, E., Peutzfeldt, A., Sahafi, A., 2005. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. *J. Prosthet. Dent.* 94, 321-329.
- Baldissara, P., 2003. Mechanical properties and in vitro studies, in: Ferrari, M., Scotti, R. (Eds.), *Fiber posts: Theoretical considerations and clinical applications.* Masson, Milan, pp.39-51.
- Baldissara, P., Zicari, F., Valandro, L.F., Scotti, R., 2006. Effect of root canal treatments on quartz fiber posts bonding root dentin. *J. Endod.* 32, 985-988.
- Beer, F.P., Johnston, R.Jr, 1991. *Vector mechanics for engineers. Statics,* fifth ed. Makron Books do Brasil 1994.
- Bitter, K., Noetzel, J., Stamm, O., Vaudt, J., Meyer-Lueckel, H., Neumann, K., Kielbassa, A.M., 2009. Randomized clinical trial comparing the effects of post placement on failure rate of postendodontic restorations: preliminary results of a mean period of 32 months. *J. Endod.* 35, 1477-1482.

- Bonfante, G., Kaizer, O.B., Pegoraro, L.F., do Valle, A.L., 2007. Fracture strength of teeth with flared root canals restored with glass fibre posts. *Int. Dent. J.* 57, 153-160.
- Bottino, M.A., Baldissara, P., Valandro, L.F., Galhano, G.A.P., Scotti, R., 2007. Effects of mechanical cycling on the bonding of zirconia and fiber posts to human root dentin. *J. Adhes. Dent.* 9, 327-331.
- Caplan, D.J., Kolker, J., Rivera, E.M., Walton, R.E., 2002. Relationship between number of proximal contacts and survival of root canal treated teeth. *Int. Endod. J.* 35, 193-199.
- de Castro-Albuquerque, R., Polletto, L.T., Fontana, R.H., Cimini, C.A., 2003. Stress analysis of an upper central incisor restored with different posts. *J. Oral Rehabil.* 30, 936-943.
- Clavijo, V.G.R., de Souza, N. C., Andrade, M.F., Susin, A.H., 2006. Anatomic post - the new clinical perspective. *Rev. Dent. Press. Estética.* 3, 100-121.
- Clavijo, V.G.R., Reis, J.M.S.N., Kabbach, W., Silva, A.L.F., Oliveira Jr, O. B., Andrade, M.F., 2009. Fracture strength of flared bovine roots restored with different intraradicular posts. *J. Appl. Oral. Sci.* 17, 574-578.
- Coelho, C.S., Biffi, J.C., Silva, G.R., Abrahão, A., Campos, R.E., Soares, C.J., 2009. Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts. *Dent. Mater. J.* 28, 671-678.
- Dietschi, D., Ardu, S., Rossier-Gerber, A., Krejci, I., 2006. Adaptation of adhesive post and cores to dentin after in vitro occlusal loading: evaluation of post material influence. *J. Adhes. Dent.* 8, 409-419.
- Erkut, S., Eminkahyagil, N., Imirzalioglu, P., Tunga, U., 2004. A technique for restoring an overflared root canal in an anterior tooth. *J. Prosthet. Dent.* 92, 581-583.
- Faria-e-Silva, A.L., Pedrosa-Filho, Cde.F., Menezes, Mde.S., Silveira, D.M., Martins, L.R., 2009. Effect of relining on fiber post retention to root canal. *J. Appl. Oral. Sci.* 17, 600-604.

- Fávero, L.P., Belfiore, P., da Silva, F.L., Chan, B.L., 2007. Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões, 5 ed. Campus Elsevier, Rio de Janeiro.
- Ferracane, J.L., 2005. Materials in Dentistry: Principles and Applications, second ed. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Ferrari, M., Vichi, A., García-Godoy, F., 2000. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. Am. J. Dent. 13 (Spec No), 15B-18B.
- Fokkinga, W.A., Le Bell, A.M., Kreulen, C.M., Lassila, L.V., Vallittu, P.K., Creugers, N.H., 2005. *Ex vivo* fracture resistance of direct resin composite complete crowns with and without posts on maxillary premolars. Int. Endod. J. 38, 230-237.
- Fukui, Y., Komada, W., Yoshida, K., Otake, S., Okada, D., Miura, H., 2009. Effect of reinforcement with resin composite on fracture strength of structurally compromised roots. Dent. Mater. J. 28, 602-609.
- Grandini, S., Sapio, S., Simonetti, M., 2003. Use of anatomic post and core for reconstructing an endodontically treated tooth: a case report. J. Adhes. Dent. 5, 243-247.
- Heydecke, G., Butz, F., Hussein, A., Strub, J.R., 2002. Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post-and-core systems. J. Prosthet. Dent. 87, 438-445.
- Hibbeler, R. C., 2006. Mechanics of materials, 5.ed. São Paulo: Pearson/Prentice Hall.
- Kaur, J., Verma, P.R., Nagpal, A., 2011. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with different post systems a comparative study. Indian. J. Dent. Sci. 3, 5-9.
- Kimmel, S.S., 2000. Restoration and reinforcement of endodontically treated teeth with a polyethylene ribbon and prefabricated fiberglass post. Gen Dent. 48, 700-706.

- Kishen, A., Kumar, G.V., Chen, N.N., 2004. Stress-strain response in human dentine: rethinking fracture predilection in postcore restored teeth. *Dent Traumatol* 20, 90-100.
- Kivanç, B.H., Alaçam, T., Ulusoy, O.I., Genç, O., Görgül, G., 2009. Fracture resistance of thin-walled roots restored with different post systems. *Int. Endod. J.* 42, 997-1003.
- Lanza, A., Aversa, R., Rengo, S., Apicella, D., Apicella, A., 2005. 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. *Dent. Mater.* 21, 709-715.
- Maccari, P.C.A., Conceição, E.N., Nunes, M.F., 2003. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with three different prefabricated esthetic posts. *J. Esthet. Restor. Dent.* 15, 25-30.
- Macedo, V.C., Faria-e-Silva, A.L., Martins, L.R., 2010. Effect of cement type, relining procedure, and length of cementation on pull-out bond strength of fiber posts. *J. Endod.* 36, 1543-1546.
- Magne, P., Knezevic, A., 2009. Thickness of CAD-CAM composite resin overlays influences fatigue resistance of endodontically treated premolars. *Dent. Mater.* 25, 1264-1268.
- Martelli, H. Jr., Pellizzer, E.P., Rosa, B.T., Lopes, M.B., Gonini, A. Jr., 2008. Fracture resistance of structurally compromised root filled bovine teeth restored with accessory glass fibre posts. *Int. Endod. J.* 41, 685-692.
- Meira, J.B., Espósito, C.O., Quitero, M.F., Poiate, I.A., Pfeifer, C.S., Tanaka, C.B., Ballester, R.Y., 2009. Elastic modulus of posts and the risk of root fracture. *Dent. Traumatol.* 25, 394-398.
- Mezzomo, L.A., Corso, L., Marczak, R.J., Rivaldo, E.G., 2011. Three-dimensional FEA of effects of two dowel-and-core approaches and effects of canal flaring on stress distribution in endodontically treated teeth. *J. Prosthodont.* 20, 120-129.

- Mitsui, F.H., Marchi, G.M., Pimenta, L.A., Ferraresi, P.M., 2004. In vitro study of fracture resistance of bovine roots using different intraradicular post systems. *Quintessence. Int.* 35, 612-626.
- Naumann, M., Preuss, A., Frankenberger, R., 2006. Load capability of excessively flared teeth restored with fiber-reinforced composite posts and all-ceramic crowns. *Oper. Dent.* 31, 699-704.
- Newman, M.P., Yaman, P., Dennison, J., Rafter, M., Billy, E., 2003. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *J. Prosthet. Dent.* 89, 360-367.
- Ni, C.W., Chang, C.H., Chen, T.Y., Chuang, S.F., 2010. A multiparametric evaluation of post-restored teeth with simulated bone loss. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 4, 322-330.
- Ozcan, M., Valandro, L.F., 2009 Fracture strength of endodontically-treated teeth restored with post and cores and composite cores only. *Oper Dent.* 34, 429-36.
- Pegoretti, A., Fambri, L., Zappini, G., Bianchetti, M., 2002. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials.* 23, 2667–2682.
- Pereira, J.R., de Ornelas, F., Conti, P.C., do Valle, A.L., 2006. Effect of a crown ferrule on the fracture resistance of endodontically treated teeth restored with prefabricated posts. *J. Prosthet. Dent.* 95, 50-54.
- Pereira, J.R., do Valle, A.L., Shiratori, F.K., Ghizoni, J.S., Mello, M.P., 2009. Influence of intraradicular post and crown ferrule on the fracture strength of endodontically treated teeth. *Braz Dent J.* 20, 297-302.
- Pierrisnard, L., Bohin, F., Renault, P., Barquins, M., 2002. Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth: a mechanical study using finite element analysis. *J. Prosthet. Dent.* 88, 442-448.

- Piovesan, E.M., Demarco, F.F., Cenci, M.S., Pereira-Cenci, T., 2007. Survival rates of endodontically treated teeth restored with fiber-reinforced custom posts and cores: a 97-month study. *Int. J. Prosthodont.* 20, 633-639.
- Rosentritt, M., Fürer, C., Behr, M., Lang, R., Handel, G., 2000. Comparison of *in vitro* fracture strength of metallic and tooth-coloured posts and cores. *J. Oral Rehabil.* 27, 595-601.
- Sahafi, A., Peutzfeldt, A., Asmussen, E., Godfredsen, K., 2004. Retention and failure morphology of prefabricated posts. *Int. J. Prosthodont.* 17, 307-312.
- Sahafi, A., Peutzfeldt, A., Ravnholt, G., Asmussen, E., Godfredsen, K., 2005. Resistance to cyclic loading of teeth restored with posts. *Clin. Oral. Investig.* 9, 84–90.
- Schmitter, M., Huy, C., Ohlmann, B., Gabbert, O., Gilde, H., Rammelsberg, P., 2006. Fracture resistance of upper and lower incisors restored with glass fiber reinforced posts. *J. Endod.* 32, 328 –330.
- Schmitter, M., Rammelsberg, P., Gabbert, O., Ohlmann, B., 2007. Influence of clinical baseline findings on the survival of 2 post systems: a randomized clinical trial. *Int. J. Prosthodont.* 20, 173-178.
- Schmitter, M., Hamadi, K., Rammelsberg, P., 2011. Survival of two post systems – five-year results of a randomized clinical trial. *Quintessence. Int.* 42, 843-850.
- Scotti, R., Valandro, L.F., Galhano, G.A., Baldissara, P., Bottino, M.A., 2006. Effect of post length on the fatigue resistance of bovine teeth restored with bonded fiber posts: a pilot study. *Int. J. Prosthodont.* 19, 504-506.
- Shillingburg, H.T., Hobo, S., Whitsett, L.D., Jacobi, R., Brackett, S.E., 1997. *Fundamentals of fixed prosthodontics*, third ed. Quintessence Publishing, Illinois.
- Signore, A., Kaitsas, V., Ravera, G., Angiero, F., Benedicenti, S., 2011. Clinical evaluation of an oval-shaped prefabricated glass fiber post in endodontically treated premolars presenting an oval root canal cross-section: a retrospective cohort study. *Int. J. Prosthodont.* 24, 255-263.

- Silva, G.R., Santos-Filho, P.C., Simamoto-Júnior, P.C., Martins, L.R., Mota, A.S., Soares, C.J., 2011. Effect of post type and restorative techniques on the strain and fracture resistance of flared incisor roots. *Braz. Dent. J.* 22, 230-237.
- Soares, C.J., Pizi, E.C., Fonseca, R.B., Martins, L.R., 2005. Influence of root embedment material and periodontal ligament simulation on fracture resistance tests. *Braz. Oral. Res.* 19, 11-16.
- Spazzin, A.O., Galafassi, D., de Meira-Júnior, A.D., Braz, R., Garbin, C.A., 2009. Influence of post and resin cement on stress distribution of maxillary central incisors restored with direct resin composite. *Oper. Dent.* 34, 223-229.
- Strub, J.R., Pontius, O., Koutayas, S., 2001. Survival rate and fracture strength of incisors restored with different post and core systems after exposure in the artificial mouth. *J. Oral. Rehabil.* 28, 120-124.
- Stricker, E.J., Göhring, T.N., 2006. Influence of different posts and cores on marginal adaptation, fracture resistance, and fracture mode of composite resin crowns on human mandibular premolars. An *in vitro* study. *J. Dent.* 34, 326-335.
- Trope, M., Maltz, D.O., Tronstad, L., 1985. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod. Dent. Traumatol.* 3, 108-111.
- Valandro, L.F., Baldissara, P., Galhano, G.A.P., Melo, R.M., Mallmann, A., Scotti, R., Bottino, M.A., 2007. Effect of mechanical cycling on the push-out bond strength of fiber posts adhesively bonded to human root dentin. *Oper. Dent.* 32, 579-588.
- Wegner, P.K., Freitag, S., Kern, M., 2006. Survival rate of endodontically treated teeth with posts after prosthetic restoration. *J. Endod.* 32, 928-931.
- Wiskott, H.W.A., Nicholls, J.L., Belser, U.C., 1995. Stress fatigue: basic principles and prosthodontic implications. *Int J Prosthodont* 8, 105-116.
- Yoldas, O., Akova, T., Uysal, H., 2005. An experimental analysis of stresses in simulated flared root canals subjected to various post-core applications. *J. Oral. Rehabil.* 32, 427-432.
- Zicari, F., Van Meerbeek, B., Debels, E., Lesaffre, E., Naert, I., 2011. An up to 3-year controlled clinical trial comparing the outcome of glass fiber posts and

composite cores with gold alloy-based posts and cores for the restoration of endodontically treated teeth. *Int. J. Prosthodont.* 24, 363-372.

- Zogheib, L.V., Pereira, J.R., do Valle, A.L., de Oliveira, J.A., Pegoraro, L.F., 2008. Fracture resistance of weakened roots restored with composite resin and glass fiber post. *Braz. Dent. J.* 19, 329-333.

REFERÊNCIAS

- ASMUSSEN, E.; PEUTZFELDT, A.; SAHAFI, A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. *J Prosthet Dent*, v. 94, n. 4, p. 321 - 329, Oct. 2005.
- ASVANUND, P.; MORGANO, S.M. Photoelastic stress analysis of different prefabricated post-and-core materials. *Dent Mater J*, v. 30, n. 5, p. 684 – 690, Sep. 2011.
- BALDISSARA, P. Mechanical properties and in vitro studies In: Ferrari M, Scotti R. *Fiber posts. Theoretical considerations and clinical applications*. Milan, Masson, p.39-51, 2003.
- COELHO, C.S. et al. Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts. *Dent Mater J*, v. 28, n. 6, p. 671 – 678, Nov. 2009.
- ERKUT, S. et al. A technique for restoring an overflared root canal in an anterior tooth. *J Prosthet Dent*, v. 92, p. 581 – 583, Dec. 2004.
- FERRARI, M.; VICHI, A.; GARCÍA-GODOY, F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent*, v. 13, Spec No, p. 15B-18B, May. 2000.
- GUTMANN, J.L. Anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*, v. 67, n. 4, p. 458-467, 1992.
- KAUR, J.; VERMA, P.R.; NAGPAL, A. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with different post systems: a comparative study. *Indian J Dent Sci*, v. 3, n. 3, p. 5-9, 2011.
- KING, P.A.; SETCHELL, D.J. An in vitro evaluation of a prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth. *J Oral Rehabil*, v. 17, p. 599 – 609, 1990.
- LANZA, A. et al. 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. *Dent Mater*, v. 21, n. 8, p. 709 – 715, 2005.
- MACCARI, P.C.A.; CONCEIÇÃO, E.N.; NUNES, M.F. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with three different prefabricated esthetic posts. *J Esthet Restor Dent*, v. 15, n. 1, p. 25 - 31, 2003.
- MANNOCCI, F.; FERRARI, M.; WATSON, T.F. Intermittent Loading of Teeth Restored Using Quartz Fiber, Carbon-Quartz Fiber, and Zirconium Dioxide Ceramic Root Canal Posts. *J Adhes Dent*, v. 1, n. 2, p. 153 - 158, 1999.

- MEIRA, J.B. et al. Elastic modulus of posts and the risk of root fracture. *Dent Traumatol*, v. 25, n. 4, p.394 - 398, Aug. 2009.
- MITSUI, F.H.O. et al. In vitro study of fracture resistance of bovine roots using different intraradicular post systems. *Quintessence Int, Berlin*, v. 35, n. 8, p. 612 - 626, Sept. 2004.
- NEWMAN, M.P. et al. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *J Prosthet Dent*, v. 89, p. 360 - 367, 2003.
- PURTON, D.G.; PAYNE, J.A. Comparison of carbon fiber and stainless steel root canal posts. *Quintessence Int, Berlin*, v. 27, n. 2, p. 93 - 97, Feb. 1996.
- TROPE, M.; MALTZ, D.O.; TRONSTAD, L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol, Copenhagen*, v. 1, n. 3, p. 108 - 111, June. 1985.
- YAMAMOTO, M. Photoelastic stress analysis of different post and core restoration methods. *Dent Mater J*, v. 28, n. 2, p. 204-211, Mar. 2009.
- YOLDAS, O.; AKOVA, T; UYSAL, H. An experimental analysis of stresses in simulated flared root canals subjected to various post-core applications. *J Oral Rehabil*, v. 32, p. 427 – 432, 2005.

ANEXOS

ANEXO A - Normas para publicação no periódico *Journal of Mechanical Behavior of the Biomedical Materials*

GUIDE FOR AUTHORS

INTRODUCTION

Authors are requested to submit a cover letter that clearly states the novelty of the work presented in their manuscript.

Types of Contributions

Research Paper: A full-length article describing original research. There is no limit on the number of words, figures etc but authors should be as succinct as possible.

Review Article: An article which reviews previous work in a given field. Reviews are written by invitation only but the editor would welcome suggestions.

Technical Note: A short article describing a new experimental technique or analytical approach.

Short Communication: An article presenting new work in reduced form, which for some reason is not suitable for a full research paper. For example a case study.

Opinion Piece: A short article presenting the author's opinion on a particular question. Normally shorter and less comprehensive than a review article, making use of published and/or unpublished results.

Tutorial: An article of an educational nature, explaining how to use a particular experimental technique or analytical method. Normally written by invitation only but the editor welcomes suggestions.

Please ensure that you select the appropriate article type from the list of options when making your submission. Authors contributing to special issues should ensure that they select the special issue article type from this list.

The journal also accepts letters, which should be sent directly to the editor in chief for consideration.

Page charges

This journal has no page charges.

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/ethicalguidelines>.

Conflict of interest

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>.

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection software iThenticate. See also <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

Changes to authorship

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts:

Before the accepted manuscript is published in an online issue: Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed.

After the accepted manuscript is published in an online issue: Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright see <http://www.elsevier.com/copyright>). Acceptance of the agreement will ensure the widest possible dissemination of information. An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement. Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult

<http://www.elsevier.com/permissions>.

Retained author rights

As an author you (or your employer or institution) retain certain rights; for details you are referred to: <http://www.elsevier.com/authorsrights>.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and

interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated. Please see <http://www.elsevier.com/funding>.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established agreements and developed policies to allow authors whose articles appear in journals published by Elsevier, to comply with potential manuscript archiving requirements as specified as conditions of their grant awards. To learn more about existing agreements and policies please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

Open access

This journal offers you the option of making your article freely available to all via the ScienceDirect platform. To prevent any conflict of interest, you can only make this choice after receiving notification that your article has been accepted for publication. The fee of \$3,000 excludes taxes and other potential author fees such as color charges. In some cases, institutions and funding bodies have entered into agreement with Elsevier to meet these fees on behalf of their authors. Details of these agreements are available at <http://www.elsevier.com/fundingbodies>. Authors of accepted articles, who wish to take advantage of this option, should complete and submit the order form (available at <http://www.elsevier.com/locate/openaccessform.pdf>). Whatever access option you choose, you retain many rights as an author, including the right to post a revised personal version of your article on your own website. More information can be found here: <http://www.elsevier.com/authorsrights>.

Language and language services

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who require information about language editing and copyediting services pre- and post-submission please visit <http://webshop.elsevier.com/languageservices> or our customer support site at <http://support.elsevier.com> for more information.

Submission

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts source files to a single PDF file of the article, which is used in the peer-review process. Please note that even though manuscript source files are converted to PDF files at submission for the review process, these source files are needed for further processing after acceptance. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, takes place by e-mail removing the need for a paper trail.

PREPARATION

Use of wordprocessing software

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns.

LaTeX

If the LaTeX file is suitable, proofs will be produced without rekeying the text. The article should preferably be written using Elsevier's document class 'elsarticle', or alternatively any of the other recognized classes and formats supported in Elsevier's electronic submissions system, for further information see <http://www.elsevier.com/wps/find/authorsview.authors/latex-ees-supported>. The Elsevier 'elsarticle' LaTeX style file package (including detailed instructions for LaTeX preparation) can be obtained from the Quickguide: <http://www.elsevier.com/latex>. It consists of the file: elsarticle.cls, complete user documentation for the class file, bibliographic style files in various styles, and template files for a quick start. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your wordprocessor.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- Title. Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- Author names and affiliations. Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that telephone and fax numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.
- Present/permanent address. If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

A Graphical abstract is mandatory for this journal. It should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the article. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples. Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images also in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. Authors wishing to present a table of nomenclature should do so on the second page of their manuscript.

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Table footnotes

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Save text in illustrations as 'graphics' or enclose the font.
- Only use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times, Symbol.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Produce images near to the desired size of the printed version.
- Submit each figure as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website: <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalised, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS: Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF: Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF: Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF: Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required. If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is'.

Please do not:

- Supply files that are optimised for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF, EPS or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Please note: Because of technical complications which can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
 2. Two authors: both authors' names and the year of publication;
 3. Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.
- Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to

Index Medicus journal abbreviations: <http://www.nlm.nih.gov/tsd/serials/lji.html>;

List of title word abbreviations: <http://www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php>;

CAS (Chemical Abstracts Service): <http://www.cas.org/sent.html>.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 50 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products,

including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary data

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item. Ensure that the following items are present: One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address
- Telephone and fax numbers

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print, or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black-and-white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

AFTER ACCEPTANCE

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. The correct format for citing a DOI is shown as follows (example taken from a document in the journal *Physics Letters B*): doi:10.1016/j.physletb.2010.09.059 When you use the DOI to create URL hyperlinks to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Proofs

One set of page proofs (as PDF files) will be sent by e-mail to the corresponding author (if we do not have an e-mail address then paper proofs will be sent by post) or, a link will be provided in the e-mail so that authors can download the files themselves. Elsevier now provides authors with PDF proofs which can be annotated; for this you will need to download Adobe Reader version 7 (or higher) available free from <http://get.adobe.com/reader>. Instructions on how to annotate PDF files will accompany the proofs (also given online). The exact system requirements are given at the Adobe site: <http://www.adobe.com/products/reader/tech-specs.html>. If you do not wish to use the PDF annotations function, you may list the corrections (including replies to the Query Form) and return them to Elsevier in an e-mail. Please list your corrections quoting line number. If, for any reason, this is not possible, then mark the corrections and any other comments (including replies to the Query Form) on a printout of your proof and return by fax, or scan the pages and e-mail, or by post. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately – please let us have all your corrections within 48 hours. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication: please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility. Note that Elsevier may proceed with the publication of your article if no response is received.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. The PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use.

AUTHOR INQUIRIES

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission) please visit this journal's homepage. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, will be provided by the publisher. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You can also check our Author FAQs (<http://www.elsevier.com/authorFAQ>) and/or contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.