

Influência da arquitetura, diâmetro e fração de volume das fibras na resistência à flexão e módulo de elasticidade dos pinos intrarradiculares

• **Ana Paula Gebert de Oliveira Franco** Departamento de Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil • **Mildred Ballin Hecke** Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil • **Gilson B. Sydney** Departamento de Odontologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil (em memória) • **Rui F. Mazur** Departamento de Odontologia, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR, Brasil • **Osnara M. M. Gomes** Departamento de Odontologia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, Brasil

RESUMO | *Objetivo:* O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da arquitetura, do diâmetro e da fração de volume das fibras na resistência à flexão e módulo de elasticidade dos pinos. *Material e Métodos:* Foram selecionados pinos de fibra de vidro de diferentes marcas comerciais: Exacto, Reforpost RX, White Post DC e Superpost Glass. Os pinos foram submetidos ao teste de resistência à flexão em três pontos (n=10). Foi calculada a resistência à flexão e o módulo de elasticidade. A microscopia eletrônica de varredura acessou o modo de fratura, a fração de volume de fibras, o diâmetro das fibras, a presença de bolhas e falhas. A ANOVA *one-way* determinou o efeito do diâmetro das fibras na resistência à flexão e módulo de elasticidade dos pinos. Além disso, a ANOVA e o teste de Tukey demonstraram as diferenças entre os valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade. O teste de correlação de Pearson revelou as correlações entre resistência à flexão e o diâmetro dos pinos. *Resultados:* A resistência à flexão foi de 445GPa para o White Post DC a 719 GPa para o Reforpost RX. O módulo de elasticidade variou de 6,4 GPa para o White Post DC a 23,3 GPa para o Exacto. Foram encontradas diferenças entre os diâmetros das fibras exceto entre White Post DC e Superpost Glass. Pinos lisos apresentaram fratura longitudinal e pinos serrilhados, transversal. *Conclusão:* Foi constatado que maiores diâmetros das fibras elevaram a resistência à flexão. Na análise dos pinos, observou-se que pinos de maiores diâmetros demonstraram maiores valores de módulo de elasticidade, enquanto pinos que apresentavam filamento metálico demonstraram elevação do módulo de elasticidade. Alterações abruptas no diâmetro dos pinos causam enfraquecimento e redução das propriedades mecânicas. Porosidades foram observadas em todos os pinos.

DESCRITORES | Pino de Fibra de Vidro; Resistência à Flexão; Fibras; Propriedades.

ABSTRACT | **Influence of the architecture, diameter and volume fraction of the fibers on the flexural strength and modulus of elasticity of the intraradicular posts** • *Objective:* The aim of this study was to evaluate the influence of architecture, diameter and volume fraction of the fiber in flexural strength and Young's modulus of root posts. *Materials and Methods:* It was selected glass fiber posts of different brands: Exacto, Reforpost RX, White Post DC and Superpost Glass. The posts were submitted to a flexural test (n=10) and the strength flexural and elastic modulus were calculated. A scanning electron microscopy accessed the fracture mode, volume fraction, fibers diameters and bubbles and voids. The ANOVA one-way determined the effect of the fibers diameters on the flexural strength and Young's modulus of the posts. Also, ANOVA and Tukey test showed the differences of flexural strength and Young's modulus values. On the other hand, the Pearson test revealed the correlations between flexural strength and posts diameters. *Results:* The flexural strength was of 445 GPa for White Post DC to 719 GPa for Reforpost RX. The Young's modulus varied of 6.4 GPa for White Post DC to 23.3 GPa for Exacto. Differences between fibers diameters were found, except between White Post DC and Superpost Glass. Smooth posts presented longitudinal fractures and serrated posts showed transverse fractures. *Conclusion:* It was observed that higher fibers diameters increased the flexural strength. Along with that, it was noted that posts of higher diameters demonstrated higher Young's modulus values, while posts that presented metallic filament increased the Young's modulus. Abrupt changes on the posts diameters cause weakness and reduction on the mechanical properties. Porosities were observed in all posts.

DESCRIPTORS | Glass Fiber Post; Flexural Strength; Fibers; Properties.

AUTOR CORRESPONDENTE | • **Ana Paula Gebert de Oliveira Franco** Universidade Tecnológica Federal do Paraná • Rua Niccolò Paganini, 415 Vista Alegre Curitiba, PR, Brasil • 80.820-180 E-mail: anapaula.gebert@gmail.com

• **Received** Apr 10, 2015 • **Accepted** Jun 03, 2015
• **DOI** <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2357-8041.cldr.2015.121347>

INTRODUÇÃO

Dentes tratados endodonticamente com perda de estrutura necessitam de reconstrução coronária com pinos intrarradiculares. Pinos de fibra de vidro têm demonstrado propriedades mecânicas semelhantes às da dentina. Por essa razão, são capazes de promover uma distribuição mais homogênea das forças mastigatórias prevenindo assim fraturas radiculares irreversíveis quando comparados aos pinos metálicos.¹⁻⁴

Pouco se conhece a respeito do efeito da arquitetura das fibras (diâmetro, fração de volume, alinhamento e relação fibra-matriz polimérica) nas propriedades flexurais. Os artigos publicados não investigaram a fundo a influência das características das fibras nas propriedades dos pinos, como o formato e a superfície dos pinos,^{5,6} a presença ou ausência do filamento metálico,⁷ a qualidade de adesão da fibra-matriz⁸ e os defeitos estruturais,⁹ que podem influenciar a resistência dos pinos e necessitam ser investigados. Considerando-se o comportamento mecânico de compósitos fibra-matriz, a fibra é responsável por absorver as tensões de tração e a matriz as tensões de compressão.¹⁰

A correlação linear entre o volume de fibras e a resistência à flexão foi demonstrada em alguns estudos.^{10,11} Tem sido sugerido que uma grande fração volumétrica de fibras deve induzir à maior resistência à fratura do pino.⁸ Cheleux e Sharrock¹² e

Novais et al.⁷ relataram que os diâmetros das fibras influenciam nas propriedades dos pinos. Baran et al.⁵ e Grandini et al.⁸ afirmaram que uma alteração abrupta no formato serrilhado do pino gera áreas potenciais de enfraquecimento. As características intrínsecas dos materiais podem induzir a deformações, cavitações e microfissuras e, conseqüentemente, falha dos pinos.¹

O objetivo deste estudo foi comparar diferentes pinos de fibra de vidro quanto à resistência à fratura e quanto ao módulo de elasticidade em flexão, relacionando os valores obtidos com características estruturais (arquitetura, diâmetro e fração de volume de fibras). A hipótese nula testada foi de que a arquitetura, diâmetro e fração de volume das fibras não influenciam nos valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Em relação aos materiais, foram selecionados quatro diferentes pinos para o estudo: Exacto (Angelus®, Londrina, Paraná, Brasil), Reforpost RX (Angelus®, Londrina, Paraná, Brasil), White Post DC (FGM®, Joinville, Santa Catarina, Brasil) e Superpost Glass (Superdant Indústria de Produtos Odontológicos, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil). Além disso, dez pinos de cada sistema foram utilizados e suas especificações estão listadas na Tabela 1.

TABELA 1 | Pinos, fabricante, composição, medidas e desenhos das superfícies dos pinos intrarradiculares estudados.

Pino	Fabricante	Composição	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Desenho da superfície
Exacto RX	Ângelus®	Fibra de vidro + filamento metálico	1,45	17	Cônico liso
Reforpost RX	Ângelus®	Fibra de vidro + filamento metálico	1,30	20,0	Cônico serrilhado
White Post DC 2	FGM®	Fibra de vidro translúcida	1,80	20,0	Dupla conicidade liso
White Post DC 1	FGM®	Fibra de vidro translúcida	1,60	20,0	Dupla conicidade liso
White Post DC 0.5	FGM	Fibra de vidro translúcida	1,40	20,0	Dupla conicidade liso
Superpost Glass	Superdant®	Fibra de vidro	1,65	17,0	Cônico Serrilhado

Ensaio de resistência à flexão

O teste de resistência à flexão foi realizado em uma máquina de ensaios AG-I Shimadzu Autograph (Shimadzu Co., Kyoto, Japão) com uma célula de carga de 10 kN. O teste foi conduzido seguindo-se a especificação ISO 10477.¹³

O teste consiste em posicionar os espécimes em dois suportes dispostos a uma distância de 11 mm entre eles. A força foi aplicada no ponto central a 90° e a uma velocidade de 1 mm/min até que seja identificada a deformação permanente ou fratura. A força de fratura e a resistência à flexão dos pinos foram calculadas para cada espécime de acordo com a fórmula:

$$\sigma = 8FL/\pi d^3(1)$$

onde F é a força aplicada no ponto mais alto da curva força-deflexão, d o diâmetro do pino e L é a distância entre os suportes.

O módulo de elasticidade à flexão axial (E_f) para cada pino foi calculado por meio da equação:

$$E_f = FL^3/3\pi d^4Y(2)$$

onde F é a força máxima, L é a distância entre os suportes, d o diâmetro do pino e Y a deflexão correspondente à força F . Os resultados foram obtidos em MPa e convertidos para GPa.

Foi calculada a relação L/D , onde L é a distância entre os suportes e D o diâmetro do pino. Essa relação é um parâmetro importante para a interpretação dos valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade dos espécimes de resinas reforçadas por fibras utilizando o teste de resistência à flexão de três pontos. O diâmetro dos espécimes afetaram negativamente os valores de resistência à flexão e de módulo de elasticidade, enquanto um aumento na distância entre os suportes afetaram positivamente os valores das mesmas variáveis.¹⁴ Uma razão L/D aumentada gera uma elevação dos valores

de resistência à flexão e módulo de elasticidade e uma redução dos valores de força máxima. Além disso, para resinas de alta resistência, um elevado valor da razão L/D deve ser utilizado para eliminar o efeito do cisalhamento durante o teste de resistência à flexão.¹⁵

Microscopia eletrônica de varredura

Quatro dos dez pinos fraturados de cada fabricante foram selecionados para análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Dois pinos foram submetidos ao ensaio de resistência à flexão e embebidos em resina à base de poli(metacrilato de metila) no interior de moldes cilíndricos plásticos de 20 mm de altura e 5 mm de diâmetro. Após sete dias, um dos cilindros foi cortado perpendicularmente e o outro transversalmente ao longo eixo dos pinos utilizando um disco diamantado (Isomet 1000, Buehler, Lake Buff, Nova York, EUA). Os espécimes foram polidos com lixas de papel de granulacão 400, 600, 1200 e 1500 sequencial lubrificadas com água. Foi realizado o acabamento com pasta diamantada com 2 μ m de diâmetro. Os outros dois pinos fraturados no teste de resistência à flexão foram apenas fixados em um suporte metálico. Os espécimes foram metalizados com ouro em um dispositivo pulverizador iônico (Shimadzu IC-50, Tokyo, Japão) por quatro minutos e analisado em MEV (SSX-550, Shimadzu, Tokyo, Japão). As imagens das secções transversal e longitudinal dos espécimes foram gravadas com a magnificação de 500x e 200x e os pinos fraturados com 60x.

Análise das imagens

As micrografias dos pinos foram utilizadas para determinar os modos de fratura: longitudinal ou transversal ao eixo dos pinos.

A secção transversal dos pinos foi utilizada para acessar a fração do volume de fibras, o número de fibras, seu diâmetro, porosidades, falhas e discontinuidades entre as fibras e a matriz resinosa no

programa Auto-CAD 2000 (Autodesk, Inc., Mill Valley, Califórnia, EUA). A fração de volume (%) ocupado pelas fibras foi determinada por meio da soma da superfície ocupada por todas as fibras dividido pela superfície total da micrografia. Os espécimes longitudinais permitiram o exame da interação entre fibras e matriz e os defeitos.

Análise estatística

Os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene foram utilizados para determinar a normalidade das distribuições e a análise das variâncias. A ANOVA *one-way* foi utilizada para comparar o efeito dos diâmetros das fibras na resistência à

flexão e módulo. O teste de múltiplas comparações de Tukey foi utilizado para determinar as diferenças significativas entre os valores de resistência à flexão e módulo dos pinos. O teste de correlação de Pearson foi utilizado para estabelecer correlações entre a resistência à flexão e os diâmetros de cada marca de pinos ($p < 0.05$).

RESULTADOS

Os valores médios do conteúdo das fibras, o modo de fratura e os diâmetros das fibras de cada pino estão disponíveis na Tabela 2. Os valores médios de resistência à flexão e módulo de elasticidade estão dispostos na Tabela 3.

TABELA 2 | Valores médios da fração de volume das fibras, modos de fratura e diâmetro das fibras dos pinos.

Grupo	Fração de volume de fibras	Modo de fratura	Diâmetros das fibras (μm) - DP
Exacto RX	0,79	Longitudinal	12,1 (1,3) ^a
Reforpost RX	0,77	Transversal	13,6 (0,9) ^b
White Post DC 0.5	0,62	Longitudinal	24,9 (3,8) ^c
White Post DC 1	0,62	Longitudinal	24,9 (3,8) ^c
White Post DC 2	0,62	Longitudinal	24,9 (3,8) ^c
Superpost Glass	0,64	Transversal	23,8 (3,3) ^c

TABELA 3 | Valores médios de módulo de elasticidade e resistência à flexão.

Grupo	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à flexão (N/mm^2)
Exacto RX	23,3 (1,2) ^a	690 (35,5) ^a
Reforpost RX	14,8 (1,1) ^a	719,2 (54,5) ^a
White Post DC 0.5	6,3 (0,5) ^b	445,4 (35,9) ^b
White Post DC 1	7,9 (0,6) ^b	473,5 (35,5) ^b
White Post DC 2	12,5 (0,7) ^c	609,1 (36,5) ^c
Superpost Glass	10,8 (0,5) ^c	599,3 (31,5) ^c

A resistência à flexão e o módulo de elasticidade dos espécimes variaram de $719,2 \pm 54,5$ (Reforpost RX) a $445,4 \pm 35,9$ GPa (White Post DC 0,5) e de $23,3 \pm 1,2$ GPa (Exacto RX) a $6,3 \pm 0,5$ GPa (White Post DC 0,5), respectivamente. A ANOVA *one-way* revelou diferenças significativas entre os grupos ($p < 0.05$). O teste de múltiplas comparações de

Tukey mostrou diferenças significativas entre todos os pinos, exceto entre o White Post DC 0,5 e o White Post DC 1; White Post DC 2 e Superpost Glass; Exacto RX e Reforpost RX ($p < 0.05$). A resistência à flexão e o módulo de elasticidade aumentaram com o aumento do diâmetro do pino, considerando apenas os pinos correspondentes à marca FGM,

ou seja, White Post DC 0,5, White Post DC 1 e White Post DC 2. O teste de correlações de Pearson revelou correlações estatísticas positivas entre a resistência à flexão e o diâmetro dos pinos para o White Post DC 0,5 e Reforpost RX; e correlações negativas entre Exacto RX e Reforpost RX, considerando-se cada marca comercial separadamente.

A razão L/D para o pino Exacto RX foi de 7,5, Reforpost – 8,4; White Post DC 0,5 – 7,8; White Post DC 1 – 6,8; White Post DC 2 – 6,1 e Superpost Glass – 6,6. A relação entre resistência à flexão e razão L/D não se apresentou de forma linear.

Em relação à análise das imagens, as análises de MEV mostraram diferentes modos de fratura (primeira linha da Figura 1). As imagens sugerem que pinos cônicos lisos induzem fraturas longitudinais e pinos serrilhados induzem a fraturas transversais. A terceira linha da Figura 1 mostra que a secção transversal do pino Exacto RX revelou a

maior fração de volume de fibras (80%) seguido pelo Reforpost RX (78%), Superpost Glass (64 %) e White Post DC (63%). Porosidades e falhas adesivas na interface entre as fibras e a matriz resinosa foram observadas em todos os pinos.

As secções transversais dos pinos mostraram menores diâmetros das fibras para o Exacto RX ($12,1 \pm 1,3$), seguido pelo Reforpost RX ($13,6 \pm 0,9$), Superpost Glass ($23,8 \pm 3,3$) e White Post DC ($24,9 \pm 3,8$). A observação dessas imagens revelou que o Superpost Glass apresenta distribuições irregulares das fibras. O White Post DC mostrou distribuições mais homogêneas, mas com uma maior quantidade de fibras em contato. Os pinos Exacto RX e Reforpost RX também apresentaram maiores quantidades de fibras, mas sem estarem distribuídas de maneira homogênea. Nesses pinos também podem ser observados contatos entre suas fibras e um arranjo hexagonal.

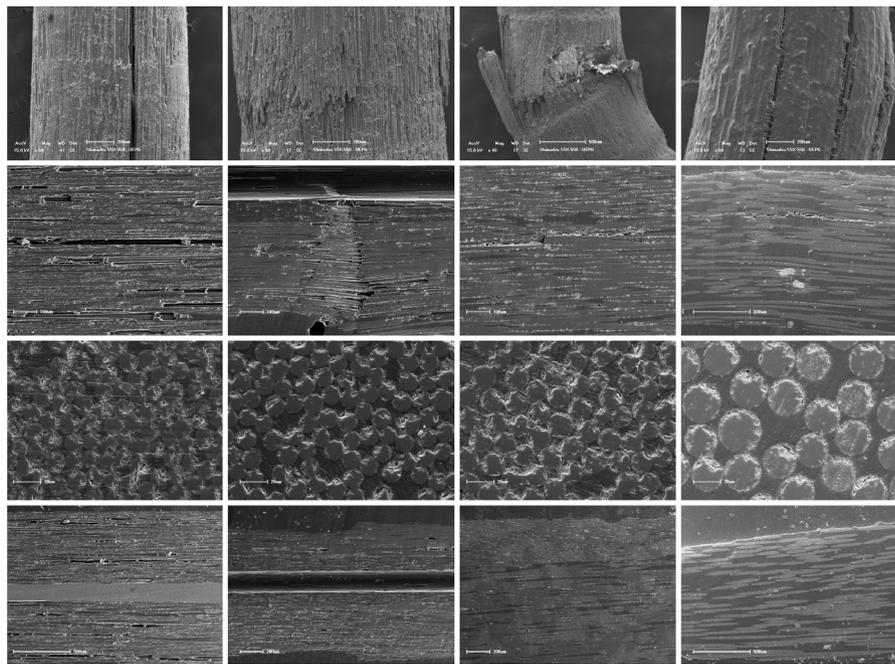


Figura 1 | Micrografias de MEV mostrando: Primeira coluna – pino Exacto com modo de fratura longitudinal; Segunda coluna – pino Reforpost RX com modo de fratura transversal ao longo eixo do pino; Terceira coluna – Superpost Glass com modo de fratura transversal; Quarta coluna – pino White Post DC com modo de fratura longitudinal. Primeira linha: modo de fratura dos pinos; segunda linha: secção longitudinal da área de fratura dos pinos (x 100); terceira linha: secção transversal mostrando o conteúdo de fibra e matriz (x 600); quarta linha: secção longitudinal dos pinos que foram submetidos ao teste de resistência à flexão (x 50).

DISCUSSÃO

Muitas fibras de vidro são compostas por sílica (SiO_2), com a adição de óxidos de cálcio, boro, sódio, ferro e alumínio. Esses vidros são usualmente amorfos, apesar de poder ocorrer alguma cristalização após o aquecimento prolongado a elevadas temperaturas. Existem três tipos de fibras de vidro para resinas: E-glass que apresenta boa resistência, rigidez, propriedades elétricas e de intemperismo; C-glass que apresenta melhor resistência à corrosão, mas menor resistência à fratura; e S-glass que possui a maior resistência à fratura e módulo de elasticidade, além de boa resistência térmica. As fibras de vidro são unidas à matriz por meio de um organossilano^{9,16}. As matrizes poliméricas mais comumente utilizadas são as resinas epóxi, poliéster insaturado e éster vinil. As resinas epóxi apresentam um elevado grau de conversão e uma estrutura altamente entrelaçada.¹⁴

A arquitetura das fibras está relacionada com as características intrínsecas, como seu diâmetro e comprimento, assim como a fração de volume das fibras e seu alinhamento e arranjo.⁹ Os diâmetros das fibras devem ser considerados porque estão correlacionados a sua resistência à flexão. Segundo Cheleux e Sharrock¹² e Lassila et al.¹⁴, fibras de menores diâmetros produzem melhores resultados. Os resultados do presente estudo não estão de acordo com os estudos citados apresentando uma grande variabilidade entre os valores. As correlações entre os diâmetros das fibras e a resistência à flexão não foram possíveis de serem estabelecidas devido às diferenças entre os pinos, suas características de superfície e a presença ou ausência de filamento metálico.

As frações de volume dos constituintes são baseadas no cálculo das densidades, volume e peso da fibra e da matriz.⁹ Callister Jr.¹⁷ relatou que pinos que exibem maiores densidades de fibras apresentam melhor resistência à fratura que os pinos com menores densidades de fibras, como também

mostrou Grandini et al.⁸ Os resultados permitem estabelecer correlações entre o volume de fibras, a resistência à flexão e o módulo de elasticidade dos pinos investigados, estando de acordo com os estudos de Seefeld et al.¹⁰, Obukuro et al.¹¹, Chieruzzi et al.¹⁸ e Novais et al.¹⁹ Os pinos Exacto RX e Reforpost RX revelaram maiores frações de volume de fibras, o que determinou sua maior resistência à flexão concordando com esses estudos. Algumas limitações podem ser observadas no método empregado para determinação da fração de volume das fibras por inferir para todos os espécimes a situação observada em uma região localizada, isto é, na seção transversal de apenas um pino de cada marca comercial.^{8,12} O método de aquecimento por 45 minutos a 700 °C e pesagem prévia e posterior ao aquecimento, parece ser mais seguro para calcular o conteúdo de fibras (vol%).^{11,20}

Os pinos utilizados nesse estudo são compostos por fibras de vidro unidirecionais contínuas, mas Hull e Clyne⁹ relataram que a distribuição ideal das fibras não ocorre na prática, exceto em pequenas regiões localizadas. Essas regiões podem exibir um arranjo hexagonal e em alguns pontos o contato entre as fibras pode ser aparente. Em pinos com menores conteúdos de fibras, o arranjo pode se apresentar de forma irregular, com fibras agrupadas e grandes regiões ricas em matriz. Porém, no presente estudo foi observado que os pinos que apresentaram maior conteúdo de fibras tinham uma distribuição irregular. Uma das principais consequências dessas irregularidades é a dificuldade de se obter frações de volume maiores que 0,7 e esse valor deve ser considerado como limite prático para materiais comerciais.

Callister Jr.¹⁷ revelou que a direção mais apropriada das fibras deve ser paralela ao longo eixo do pino. Essa configuração faz o pino suportar forças de forma mais eficiente, dado que divergências do eixo longitudinal resultam na transmissão de tensões à matriz.

As propriedades dos materiais resinosos reforçados podem ser acessadas por meio de vários testes mecânicos. O teste de resistência à flexão tem sido amplamente utilizado na investigação das propriedades dos pinos. Esse teste submete a amostra a forças compressivas direcionadas de forma oblíqua ou diagonal ao longo eixo dos pinos gerando tensões na matriz. As elevadas tensões na interface fibra-matriz resinosa são responsáveis pelo comportamento inelástico e indução gradual à deformação, microfissuras, fraturas das fibras e perda da adesão entre as fibras e a matriz. As tensões de tração apresentadas na porção inferior do espécime determinaram a delaminação da fibra a partir da matriz.^{21,22} A falha catastrófica do pino ocorre devido à perda de adesão e deformação plástica.²³

Os resultados da resistência à flexão estão relacionados com a razão entre a distância dos suportes e o diâmetro dos espécimes (L/D). Constatou-se que maiores valores de L/D induzem a uma menor deformação por cisalhamento nos espécimes de materiais resinosos reforçados por fibras;²⁴ portanto, mesmo sabendo a presença do cisalhamento nos testes de resistência à flexão, o intuito do estudo foi realizar uma comparação entre os diferentes pinos de fibra de vidro.

Neste estudo os pinos foram testados secos de acordo com outros estudos^{8,14,19,25-27}. Alguns autores²⁷⁻²⁹ mostraram que o armazenamento dos pinos de fibra de vidro em água afeta suas propriedades mecânicas reduzindo os valores de resistência à fratura, gerando alterações morfológicas como espaços vazios, delaminação das fibras de quartzo da matriz de resina epóxi ao longo da periferia dos pinos e desunião da interface fibra-matriz resinosa. Esses efeitos são consequência da hidrólise do silano e inchaço da resina epóxi. Mannocci et al.²⁷ não encontraram diferenças significativas na resistência à flexão entre pinos armazenados em dentes bovinos, em água e a seco. Eles sugeriram que os pinos de fibra não devem ser expostos ao ambiente bucal. A porção coronária

deve ser construída imediatamente, a resina composta do núcleo de preenchimento deve recobrir completamente o pino de fibra, evitando a redução das propriedades mecânicas.

A análise de comparação dos pinos White Post DC 0,5, White Post DC 1 e White Post DC 2 mostrou uma relação linear entre os diâmetros dos pinos (D), resistência à flexão (σ) e módulo de elasticidade (E). Os resultados estão de acordo com os de Lassila et al.¹⁴, porém não estão de acordo com os resultados de Novais et al.⁷ que mostraram que pinos de maiores diâmetros apresentam menores valores de módulo de elasticidade, porém maior resistência à fratura como encontrado neste estudo.

Clinicamente, é possível estabelecer que pinos de maiores diâmetros contribuem para uma maior resistência à fratura, mas requerem um excesso de preparação da dentina intrarradicular, gerando um enfraquecimento da estrutura dentária, permitindo fraturas radiculares.¹⁴

A análise de comparação entre pinos com ou sem filamento metálico revelou que os pinos Exacto RX e Reforpost RX apresentaram maiores valores de resistência à flexão e de módulo de elasticidade elevados (690 MPa e 23,3 GPa; 719,2 Mpa e 14,8 GPa, respectivamente) por conta da presença do filamento metálico, diferindo dos resultados de Novais et al.⁷

O Reforpost RX revelou baixo valor de módulo de elasticidade associado a uma maior resistência à flexão (E = 14,9 GPa, σ = 719,2 MPa), confirmando os relatos de Novais et al.⁷ que encontrou que a resistência à flexão está relacionada de forma proporcional com o módulo de elasticidade e à geometria do espécime.

Considerando o modo de fratura dos pinos, pinos lisos mostraram fraturas longitudinais e pinos serrilhados fraturas perpendiculares. Esses achados reforçam a afirmação de Baran et al.⁵ e Zicari et al.⁶ que áreas de enfraquecimento devem também ser encontradas em regiões do pino onde tenha uma alteração abrupta na geometria. Por essa razão, pinos

de superfícies serrilhadas não parecem gerar benefícios para a resistência a fraturas dos pinos.⁸

Além das características intrínsecas, falhas causadas por forças perpendiculares devem ser levadas em conta. Áreas de potencial enfraquecimento nos pinos de fibra podem ser observadas como a presença de espaços vazios, porosidades e descon continuidades ao longo da interface fibra-matriz resinosa. Pequenos defeitos estruturais podem gerar microfissuras que adicionadas às forças mastigatórias podem levar à fratura do pino.

Vários tipos de espaços vazios podem estar presentes nos materiais resinosos. Isso pode ocorrer em vários tipos de resina, embora haja variações na sua incidência dependendo da forma de fabricação e do tipo de matriz utilizada. Grandes cavidades podem ser formadas durante a fabricação dos componentes resultando em defeitos graves. Pequenos espaços vazios formam-se adjacentes às fibras devido à incompleta infiltração durante o processo ou por cavitação durante a deformação. Apesar da dificuldade de se estabelecer o conteúdo médio de bolhas e espaços vazios em um espécime sem examinar um grande número de secções, existem dois tipos diferentes de métodos para se investigar espaços vazios e bolhas. Existe uma técnica que envolve medições precisas da densidade da amostra pelo princípio de Arquimedes onde a densidade é determinada pelo peso da amostra no ar e em um líquido de densidade conhecida.⁹ Neste estudo, observou-se na secção transversal do pino Superpost que possui uma grande área de defeito com a falta de material resinoso e fibras na região central estendendo-se para a área periférica. Foram observadas pequenas bolhas nas margens de algumas fibras. Defeitos semelhantes foram detectados no pino Exacto RX estendendo-se do filamento metálico às margens do pino. Isso pode ser causado por incompatibilidade entre a resina e a estrutura metálica. Além disso, bolhas foram detectadas na matriz do White Post DC e Reforpost RX.

A discrepância nos valores relatados de resistência à flexão para materiais semelhantes pode ser atribuída a diferenças no desenho experimental, método de preparação dos espécimes, espessura e formato da amostra, distância entre os suportes, frações de volume fibra-matriz, diâmetros das fibras,¹⁴ orientação das fibras,¹⁷ propriedades adesivas da interface fibra-matriz, contração de polimerização e características intrínsecas da interface fibra-matriz.⁸

CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia utilizada e considerando-se as limitações do presente estudo, pode-se concluir que:

- pinos de maiores diâmetros e mesmas características estruturais demonstraram maiores valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade;
- o diâmetro e desenho da superfície dos pinos influenciam em suas propriedades e devem ser levados em consideração;
- o filamento metálico presente em alguns pinos gera uma elevação dos valores de módulo de elasticidade;
- alterações abruptas no diâmetro do pino causam áreas de potencial enfraquecimento e reduz as propriedades mecânicas;
- bolhas e espaços vazios foram observados em todos os pinos.

REFERÊNCIAS

1. Duret B, Reynaud M, Duret F. Un nouveau concept de re-constitution corono-radicaire. *Chir Dent Fr.* 1990 Dec;60(540):131-41.
2. Lanza A, Aversa R, Rengo S, Apicella D, Apicella A. 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. *Dent Mater.* 2005 Aug;21(8):709-15. doi: 10.1016/j.dental.2004.09.010
3. Mazzocato DT, Hirata R, Pires LAG, Mota E, Moraes LF, Mazzocato ST. Propriedades flexurais de pinos diretos metálicos e não-metálicos. *Rev Dental Press Estet.* 2006 jul.-set.;3(3):21-36.

4. Sorrentino R, Aversa R, Ferro V, Auriemma T, Zarone F, Ferrari M, et al. Three-dimensional finite element analysis of strain and stress distributions in endodontically treated maxillary central incisors restored with different post, core and crown materials. *Dent Mater.* 2007 Aug;23(8):983-93. doi: 10.1016/j.dental.2006.08.006.
5. Baran G, Boberick K, McCool J. Fatigue of restorative materials. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2001;12(4):350-60. doi: 10.1177/10454411010120040501.
6. Zicari F, Coutinho E, Scotti R, Van Meerbeek B, Naert I. Mechanical properties and micro-morphology of fiber posts. *Dent Mater.* 2013 Apr;29(4):e45-52. doi: 10.1016/j.dental.2012.11.001.
7. Novais VR, Quagliatto PS, Bona AD, Correr Sobrinho L, Soares CJ. Flexural modulus, flexural strength, and stiffness of fiber-reinforced posts. *Indian J Dent Res.* 2009 Jul-Sep;20(3):277-81. doi: 10.4103/0970-9290.57357.
8. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. *Dent Mater.* 2005 Feb;21(2):75-82. doi: 10.1016/j.dental.2004.02.012.
9. Hull D, Clyne TW. An introduction to composite materials. 2nd ed. United Kingdom: Cambridge University; 1996. p. 14-42.
10. Seefeld F, Wenz HJ, Ludwig K, Kern M. Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dent Mater.* 2007 Mar;23(3):265-71. doi: 10.1016/j.dental.2006.01.018.
11. Obukuro M, Takahashi Y, Shimizu H. Effect of diameter of glass fibers on flexural properties of fiber-reinforced composites. *Dent Mater J.* 2008 Jul;27(4):541-8.
12. Cheleux N, Sharrock PJ. Mechanical properties of glass fiber-reinforced endodontic posts. *Acta Biomater.* 2009 Oct;5(8):3224-30. doi: 10.1016/j.actbio.2009.04.008.
13. International Organization for Standardization. ISO 10477 for Dentistry – Polymer-based crown and bridge materials. Genève: International Organization for the Testing of Materials; 1992.
14. Lassila LVJ, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater.* 2004 Jan;20(1):29-36. doi: 10.1016/S0109-5641(03)00065-4.
15. Cooper GA. Optimization of the three-point bend test for fracture energy measurement. *J Mater Sci.* 1977 Feb;12(2):277-89. doi: 10.1007/BF00566268.
16. Murphy J. Reinforced plastics handbook. Oxford: Elsevier; 1998. p. 63-106.
17. Callister Jr WD. Materials science and engineering: an introduction. 3rd ed. New York: Wiley; 1997. p. 513-41.
18. Chieruzzi M, Pagano S, Pennacchi M, Lombardo G, D'Érrico P, Kenny JM. Compressive and flexural behavior of fibre reinforced endodontic posts. *J Dent.* 2012 Nov;40(11):968-78. doi: 10.1016/j.jdent.2012.08.003.
19. Novais VR, Rodrigues RB, Simamoto Jr PC, Correr Sobrinho L, Soares CJ. Correlation between the mechanical properties and structural characteristics of different fiber posts systems. *Braz Dent J.* 2016 Jan-Feb;27(1):46-51. doi: 10.1590/0103-6440201600377.
20. Keulemans F, Palav P, Aboushelib MM, van Dalen A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Fracture strength and fatigue resistance of dental resin-based composites. *Dent Mater.* 2009 Nov;25(11):1433-41. doi: 10.1016/j.dental.2009.06.013.
21. Stewardson DA, Shortall AC, Marquis PM, Lumley PJ. The flexural properties of endodontic post materials. *Dent Mater.* 2010 Aug;26(8):730-6. doi: 10.1016/j.dental.2010.03.017.
22. Pereira GK, Lançanova M, Wandscher VF, Kaizer OB, Limberger I, Özcan M, et al. Fiber-matrix integrity, micro-morphology and flexural strength of glass fiber posts: evaluation of the impact of rotary instruments. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2015 Aug;48:192-9. doi: 10.1016/j.jmbbm.2015.04.008.
23. Grandini S, Balleri P, Ferrari M. Scanning electron microscopic investigation of the surface of fiber posts after cutting. *J Endod.* 2002 Aug;28(8):610-2. doi: 10.1097/00004770-200208000-00012.
24. Adams DF, Lewis EQ. Experimental study of three- and four-point shear test specimens. *J Compos Tech Res.* 1995 Oct;17(4):341-9. doi: 10.1520/CTR10454J.
25. Alander P, Lassila LVL, Vallittu PK. The span length and cross-sectional design affect values of strength. *Dent Mater.* 2005 Apr;21(4):347-53. doi: 10.1016/j.dental.2004.05.009.
26. Galhano GA, Valandro LF, De Melo RM, Scotti R, Bottino MA. Evaluation of the flexural strength of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts. *J Endod.* 2005 Mar;31(3):209-11.
27. Mannocci F, Sherriff M, Watson TF. Three-point bending test of fiber posts. *J Endod.* 2001 Dec;27(12):758-61. doi: 10.1097/00004770-200112000-00011.
28. Vichi A, Vano M, Ferrari M. The effect of different storage conditions and duration on the fracture strength of three types of translucent fiber posts. *Dent Mater.* 2008 Jun;24(6):832-8. doi: 10.1016/j.dental.2007.09.011.
29. Komada W, Inagaki T, Ueda Y, Omori S, Hosaka K, Tagami J, et al. Influence of water immersion on the mechanical properties of fiber posts. *J Prosthodont Res.* 2016 Jun 17. doi: 10.1016/j.jpor.2016.05.005.