

CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO - UNISAGRADO

BEATRIZ ALVES BARZOTTI

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM INSTRUMENTO
PROTÓTIPO DE NIQUEL-TITÂNIO FABRICADO COM TECNOLOGIA EDM

BAURU

2020

BEATRIZ ALVES BARZOTTI

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM INSTRUMENTO
PROTÓTIPO DE NIQUEL-TITÂNIO FABRICADO COM TECNOLOGIA EDM

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado como parte dos
requisitos para obtenção do título de
bacharel em Odontologia - Centro
Universitário Sagrado Coração –
UNISAGRADO.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Priori Alcalde

BAURU

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com
ISBD

B223a	<p>Barzotti, Beatriz Alves</p> <p>Avaliação das propriedades mecânicas de um instrumento protótipo de níquel-titânio fabricado com tecnologia EDM / Beatriz Alves Barzotti. -- 2020. 26f. : il.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Murilo Priori Alcalde</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Odontologia) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP</p> <p>1. Endodontia. 2. Níquel-titânio. 3. Fadiga cíclica. 4. Fadiga torcional. I. Alcalde, Murilo Priori. II. Título.</p>
-------	--

BEATRIZ ALVES BARZOTTI

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM INSTRUMENTO
PROTÓTIPO DE NIQUEL-TITÂNIO FABRICADO COM TECNOLOGIA EDM

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado como parte dos
requisitos para obtenção do título de
bacharel em Odontologia - Centro
Universitário Sagrado Coração -
UNISAGRADO.

Aprovado em: 01/12/2020

Banca examinadora:

Prof. Dr. Murilo Priori Alcalde (Orientador)
Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO

Prof. Dr. Guilherme Ferreira da Silva
Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO

Dedico este trabalho aos meus pais, com
muito amor, carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por em sua infinita bondade me conceder saúde e sabedoria para chegar até aqui.

Aos meus pais, que são meu alicerce Vani Alves Valenta Barzotti e Mauro Barzotti, por todo o amor e confiança, pois sem eles nada disso seria possível.

Aos professores queridos e demais integrantes do UNISAGRADO que me espelho e espero levar como referência para o resto da vida como profissionais maravilhosos, por toda dedicação, disposição e paciência.

Ao professor e coordenador Guilherme Ferreira da Silva, por aceitar o convite de participação para a banca do presente trabalho.

Em especial ao meu querido professor e orientador Murilo Priori Alcalde, por todo auxílio, por compartilhar seu conhecimento, tornando possível a conclusão deste trabalho, assim como do projeto de iniciação científica, o qual me orientou e não mediu esforços para a sua realização. Deixo aqui minha enorme gratidão à ele.

Agradeço a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo amparo deste órgão tão admirável, tornando possível a realização do meu projeto científico, que é de imensurável importância nesta etapa que estou concluindo, assim como para formação do meu currículo.

Por último e não menos importante, aos meus amigos de turma, em especial as minhas companheiras, minhas amigas que foram tão importantes para o meu aprendizado, em aulas teóricas, como nas clínicas, laboratórios, noites de estudos em vésperas de provas, dias de lutas e dias de glórias rsrs, por toda parceria e companheirismo destes quatro anos, vocês fizeram a diferença e marcaram minha vida. Amo vocês.

RESUMO

Há mais de trinta anos instrumentos rotatórios de Níquel-Titânio (NiTi) são empregados em tratamentos endodônticos, sendo que essa utilização vem ganhando espaço ao longo do tempo. Desde então, tem-se buscado uma contínua melhoria e evolução desses instrumentos. Desta forma, o presente estudo objetiva avaliar a resistência à fadiga cíclica e torcional de instrumentos rotatórios de NiTi fabricados com tecnologia EDM (Electrical Discharge Machining): Hyflex EDM 25.~ (Coltene, Whaladent AG, Suíça) e Mk Life Protótipo 25.06 (Mk Life, Porto Alegre, Brasil). Para tanto, foram realizados ensaios mecânicos em duas etapas: ensaios de torção e fadiga cíclica. Para os ensaios de torção utilizou-se um total de 20 instrumentos (n=10), sendo os ensaios realizados de acordo com a especificação ISO 3630-1, com o objetivo de avaliar o torque (N.cm) e a deflexão angular ($^{\circ}$) necessária para a fratura dos 3 mm iniciais das pontas dos instrumentos. Por fim, o teste de fadiga cíclica foi realizado para avaliar resistência a fadiga cíclica em um canal artificial com 600 de curvatura e 5 mm de raio com a finalidade de avaliar o tempo necessário para a fratura (n=10). Além disso, foi calculado o número de ciclos para a fratura. Ao final dos ensaios de torção e de fadiga cíclica, todos os instrumentos tiveram a superfície fraturada avaliada em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com a finalidade de avaliar a característica topográfica da superfície. Os dados de fadiga cíclica foram analisados estatisticamente empregando os testes de Koromov-Smirnov and *t* de Student, com nível de significância de 5%. Posteriormente, os resultados em questão foram comparados e discutidos.

Palavras-chave: Endodontia. Níquel-Titânio. Fadiga cíclica. Fadiga torcional.

ABSTRACT

Nickel-Titanium (NiTi) rotary instruments have been used in endodontic treatments for more than thirty years, and this use has been gaining space over time. Since then, continuous improvement and evolution of instruments has been sought. Thus, the present study aims to evaluate the resistance to cyclic and torsional fatigue rotating NiTi instruments manufactured with EDM (Electric Discharge Machining) technology: Hyflex EDM 25. ~ (Coltene, Whaladent AG, Switzerland) and Mk Life Prototype 25.06 (Mk Life, Porto Alegre, Brazil). For that, mechanical tests were carried out in two stages: torsion tests and cyclic fatigue. For the torsion tests, a total of 20 instruments (n = 10) were used, the tests being carried out according to ISO 3630-1 specifications, with the objective of evaluating the torque (N.cm) and the angular deflection (°) necessary for the fracture of the initial 3 mm of the instrument tips. Finally, the cyclic fatigue test was performed to assess cyclic fatigue in an artificial canal with curvature of 600 curvature and 5 mm radius with the assessment of assessing the time needed for fracture (n = 10). In addition, the number of cycles for the fracture was established. At the end of the torsion and cyclic fatigue tests, all the instruments had their fractured surface evaluated in Scanning Electron Microscopy (SEM) with the evaluation of the topographic characteristic of the surface. Cyclic fatigue data were statistically imposed using the Koromov-Smirnov and Student t tests, with a 5% significance level. Subsequently, the results in question were compared and discussed.

Keywords: Endodontics. Nickel-Titanium. Cyclic fatigue. Torsional fatigue.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Equipamentos para ensaio de torção.....	15
Figura 2 - Valores torque máximo e angulação no momento da fratura.....	15
Figura 3 - Motor elétrico VDW Silver Reciproc.....	16
Figura 4 - Imagem representativa de MEV dos fragmentos dos instrumentos após o teste de fadiga cíclica: Protótipo Mk Life 25.06(A) Hyflex EDM 25.~(B) ...	19
Figura 5 - Imagem representativa de MEV dos instrumentos após o teste de torção. As imagens A e B representam o instrumento Protótipo Mk Life 25.06 em 200x e 1000x de magnificação, enquanto C e representam os instrumentos Hyflex EDM 25.~	19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
EDM	Electrical Discharge Machining
ISO	International Organization for Standardization
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NiTi	Níquel-Titânio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	13
2.1	GERAL.....	13
2.2	ESPECÍFICOS.....	13
3	MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1	ENSAIO DE TORÇÃO	14
3.2	ENSAIO DE FADIGA CÍCLICA.....	15
3.3	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DOS INSTRUMENTOS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	17
3.4	ANÁLISE-ESTATÍSTICA.....	17
4	RESULTADOS	18
4.1	AVALIAÇÃO EM MEV	18
5	DISCUSSÃO	20
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
	REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico tem o objetivo de prevenir e/ou controlar instalação da periodontite apical. Para isso, é de fundamental importância a realização de um preparo biomecânico, uso de medicação intracanal e, posteriormente, uma obturação mais hermética possível (SIQUEIRA; ROÇAS, 2008).

Atualmente, há diversas técnicas de instrumentação dos canais radiculares, sendo as técnicas progressivas as mais indicadas e empregadas, independentemente do tipo de condição pulpar (SIQUEIRA *et al.*, 2008). Estas técnicas consistem em um preparo gradual do terço cervical e médio do canal radicular empregando instrumentos manuais, rotatório de aço inoxidável ou mecanizados de Níquel-Titânio (GALLOTINI, 2017).

Os sistemas mecanizados de NiTi são amplamente empregados para a modelagem dos canais radiculares (JARDINE *et al.*, 2016; PEDULLA *et al.*, 2016). Desde a introdução do NiTi na endodontia em 1988 surgiram uma grande variedade de sistemas, os quais apresentam diferentes características de design, conicidades e tipos de NiTi empregados na sua confecção (LOPES *et al.*, 2013; PEDULLA *et al.*, 2016). O NiTi apresenta maior flexibilidade e maior resistência a fratura do que os instrumentos de aço inoxidável, o que favoreceu o preparo de canais radiculares curvos e menores índices de desvios no preparo. Durante as últimas décadas diversas modificações foram realizadas com objetivo de otimizar as propriedades mecânicas destes instrumentos e favorecer um preparo do canal radicular mais centralizado e conservador (SHEN *et al.*, 2013).

A grande modificação ocorrida na liga de NiTi foi o surgimento do tratamento térmico (LOPES *et al.*, 2013; PEDULLA *et al.*, 2016; SHEN *et al.*, 2013). Os quais possibilitaram a modificação da estrutura cristalina do NiTi e favoreceram a maior presença da fase martensítica da liga (fase mais flexível), gerando instrumentos ainda mais flexíveis do que o NiTi convencional (LOPES *et al.*, 2013; SHEN *et al.*, 2013). Por esta razão, a grande maioria dos instrumentos de NiTi empregados no preparo do canal radicular são confeccionados com algum tipo de tratamento térmico (PEDULLA *et al.*, 2016; PIRANI *et al.*, 2015; SHEN *et al.*, 2013).

Previamente ao surgimento dos tratamentos térmicos, os instrumentos mecanizados de NiTi eram confeccionados apenas pelo método de usinagem devido as propriedades de memória de forma desta liga metálica (ALCALDE *et al.*, 2018;

LOPES *et al.*, 2013; PEDULLA *et al.*, 2016). A grande limitação deste método de fabricação era o aparecimento de estrias na superfície da liga que poderia ser áreas de fragilidade ou onde iniciariam alterações superficiais nos instrumentos, podendo levá-los à fratura (LOPES *et al.*, 2013). No entanto, no ano de 2008 a empresa Sybron (Sybron Dental Specialties, Estados Unidos) desenvolveu um novo tratamento térmico que permitiu que os instrumentos de NiTi fossem confeccionados por torção. Isso foi possível devido ao tratamento permitir o surgimento de uma fase intermediária entre a fase austenita e martensita, chamada de fase romboédrica (fase R) (ALCALDE *et al.*, 2018; LOPES *et al.*, 2013; SHEN *et al.*, 2013). Essa modificação permitiu uma melhora nas propriedades mecânicas dos instrumentos, tornando-os mais resistente a fratura do que os instrumentos confeccionados com pelo método de usinagem (HAAPASALO; SHEN, 2013; LOPES *et al.*, 2013).

No ano de 2015, a empresa Coltene (Coltene/Whaledent AG, Altstatten, Suíça) introduziu um novo método de fabricação de instrumentos de NiTi denominado EDM (Electrcal Discharge Machining). Este método visa confeccionar as espiras de corte dos instrumentos por meio da imersão em um líquido e é aplicado uma corrente elétrica controlada que promove a evaporação do metal (PEDULLA *et al.*, 2016; PIRANI *et al.*, 2015), este procedimento é denominado eletroerosão. A literatura tem demonstrado que este método promove um aumento significativo na resistência mecânica dos instrumentos quando comparados com o método de usinagem e de torção (PEDULLA *et al.*, 2016; PIRANI *et al.*, 2015).

O sistema Hyflex EDM (Coltene/Whaledent AG, Altstatten, Suíça) foi introduzido no mercado no ano de 2015. Este sistema possui 3 instrumentos, sendo o principal deles o de diâmetro 25, o qual é empregado para modelagem do canal radicular. Este instrumento apresenta conicidade variável ao longo de sua parte ativa, sendo 08 nos 4 mm iniciais e reduzindo para 04 até o diâmetro D16. Além disso, apresenta uma secção variável ao longo do instrumento, sendo inicialmente quadrangular, retangular no terço médio e triangular na porção mais coronal (PEDULLA *et al.*, 2016; PIRANI *et al.*, 2015).

Os instrumentos fabricados com tecnologia EDM possuem alta resistência à fadiga cíclica e boas propriedades torcionais quando comparados com instrumentos fabricados com diferentes tipos de NiTi presentes no mercado (PEDULLA *et al.*, 2016; PIRANI *et al.*, 2015). Por isso, diversas empresas tem proposto o desenvolvimento de instrumentos com características e tecnologia semelhantes aos instrumentos Hyflex

EDM. Por esta razão, o objetivo deste estudo é avaliar a resistência à fadiga cíclica e torcional de protótipos de instrumentos rotatórios de NiTi 25.06 fabricados com tecnologia EDM da empresa nacional MK Life (Porto Alegre, Brasil) em comparação com os instrumentos Hyflex EDM.

2 OBJETIVOS

Seguem adiante os objetivos do presente trabalho.

2.1 GERAL

Avaliar a resistência a fadiga cíclica e torcional dos instrumentos rotatórios de NiTi empregados para modelagem do canal radicular fabricado com método EDM: Hyflex EDM 25.~ e protótipo Mk Life 25.06.

2.2 ESPECÍFICOS

Através da realização de ensaios de torção com 20 instrumentos (sendo n=10 Hyflex EDM 25.~, e n=10 Mk Life), objetiva-se:

- a) avaliar o torque (N.cm) e a deflexão angular ($^{\circ}$) necessária para a fratura dos 3 mm iniciais das pontas dos instrumentos;
- b) avaliar a resistência a fadiga cíclica em um canal artificial, o tempo necessário para a fratura e calcular o número de ciclos para a fratura;
- c) avaliar em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) a característica topográfica da superfície dos instrumentos;
- d) analisar os dados de fadiga cíclica estatisticamente, empregando os testes de Koromov-Smirnov and *t* de Student, com nível de significância de 5%.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização ensaios mecânicos foi feito um cálculo amostrar empregando o programa G*Power v3.1 for Mac (Heinrich Heine University Düsseldorf HHU) selecionando o test de Wilcoxon- Mann-Whitney da família do Test t. O erro do tipo alfa de 0,05, a potência beta 0,95 e uma razão N2/N1 de 1 também foram estipulados. Um total de 8 espécimes por grupo foi indicado como o tamanho amostral ideal. No entanto, utilizou-se um adicional de 20% para compensar possíveis valores discrepantes que poderiam comprometer o teste estatístico.

Os ensaios mecânicos foram divididos em duas etapas: Instrumentos para preparo cervical e instrumentos para modelagem dos canais.

3.1 ENSAIO DE TORÇÃO

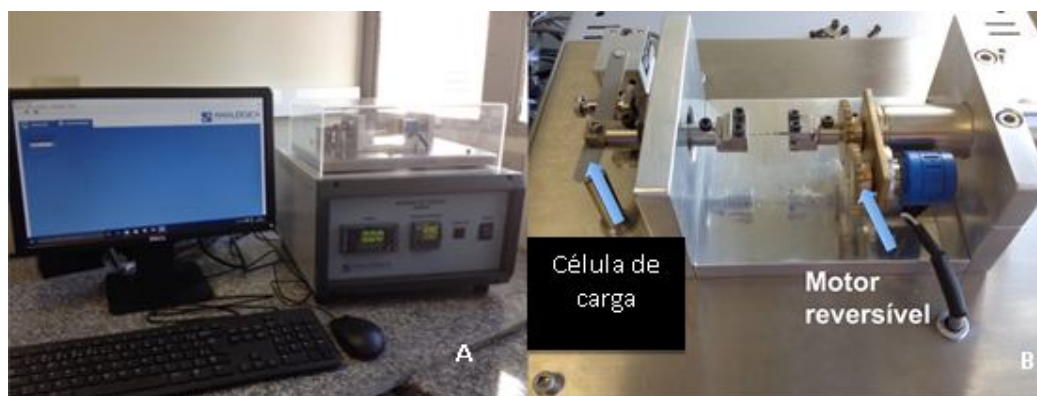
Para este teste foram utilizados um total 20 instrumentos (n=10). Os testes de torção foram realizados de acordo com a especificação ISO 3630-1 (International Organization for Standardization, 1992) e foi descrita previamente por estudo prévios (ALCALDE *et al.*, 2017; ALCALDE *et at.*, 2018; BAHIA *et al.*, 2006). A máquina de torção encontra-se localizada no Departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Odontológicos da Faculdade de Odontologia de Bauru (Figura 1A). Este equipamento permite avaliar o torque (N.cm) e a deflexão angular (°) necessária para a fratura dos instrumentos.

Para tanto, foram utilizados um total de 20 instrumentos (n=10) dos sistemas rotatórios Hyflex EDM 25.~ (Coltene, Whaladent AG, Suíça) e Mk Life Protótipo 25.06 (Mk Life, Porto Alegre, Brasil). Previamente aos testes, todos os instrumentos tiveram o mandril removido para possibilitar a fixação na máquina de torção. Então, as extremidades dos instrumentos foram fixadas em mandris parafusáveis, sendo os primeiros 3 mm da ponta do instrumento fixada em mandril acoplado a uma célula de torque e a outra, em um mandril conectado a um motor de engrenagem reversível (Figura 1B).

Para iniciar o teste de torção, o motor reversível foi ativado por software especificamente projetado para esta máquina (Análogica, Belo Horizonte, Brazil), o qual promoveu uma rotação no sentido horário com velocidade de 2 rotações por minuto (RPM) para todos os grupos. Concomitantemente a rotação do motor, o

software forneceu os valores de torque (N.cm) necessário para a fratura do instrumento e a angulação ($^{\circ}$) realizada pelo motor até a fratura do instrumento, a qual foi automaticamente detectada pelo equipamento, paralisando a rotação do motor. Então, os valores adquiridos pelo software foram exportados para uma planilha no Excel, e tabulado o valor de torque máximo e a angulação realizada pelo motor no momento da fratura do instrumento (Figura 2).

Figura 1 – Equipamentos para ensaio de torção



Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: A: Máquina de torção – B: Motor de engrenagem reversível

Figura 2 - Valores torque máximo e angulação no momento da fratura



Fonte: Elaborada pela autora.

3.2 ENSAIO DE FADIGA CÍCLICA

Para realização dos ensaios de fadiga cíclica foram utilizados um total de 20 instrumentos (n=10): Hyflex EDM 25.~ (Coltene, Whaladent AG, Suíça) e Mk Life Protótipo 25.06 (Mk Life, Porto Alegre, Brasil). Previamente aos ensaios mecânicos,

todos os instrumentos foram inspecionados para avaliar possíveis defeitos ou deformidades em estereomicroscópio (Stemi 2000C; Carls Zeiss, Jena, Alemanha) com 16X de magnificação.

O teste de fadiga cíclica foi realizado em um aparato que simula uma curvatura de um canal artificial de aço inoxidável com 60° de curvatura e 5 mm de raio, como descrito previamente por Alcalde *et al.* (2018) (Figura 3). A curvatura do canal será ajustada por meio de um cilindro guia (5 mm de raio) e por um arco externo que apresenta um sulco de 1 mm de profundidade, o qual serviu como guia para os instrumentos e os manteve na curvatura girando livremente. Um motor elétrico VDW Silver Reciproc (VDW, Munique, Alemanha) foi acoplado ao dispositivo, o qual permitiu realizar rotações no sentido horário com torque de 2N e velocidade de 500 RPM para ambos os grupos. Durante o teste, foi mensurado o tempo necessário até a fratura do instrumento, sendo aferido por meio de um cronômetro digital e confirmado por uma filmagem realizada concomitantemente ao teste. Após a mensuração do tempo para fratura, foi calculado o número de ciclos por meio do seguinte cálculo: tempo para a fratura (em segundos) X velocidade (rotação por minuto)/ por 60.

Figura 3 - Motor elétrico VDW Silver Reciproc



Fonte: Elaborada pela autora.

3.3 AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE DOS INSTRUMENTOS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Esta etapa teve como objetivo avaliar características topográficas da superfície fraturada dos instrumentos submetidos ao teste de torção e fadiga cíclica. Todos os instrumentos serão levados ao microscópio eletrônico de varredura (MEV (JSM – T220A, Jeol, Tóquio, Japão) disponível no departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Odontológicos na Faculdade de Odontologia de Bauru - Universidade de São Paulo. Os instrumentos do teste de fadiga cíclica foram avaliados com magnificação de 250x. Já os instrumentos do teste de torção foram avaliados em 200x e 1000x.

3.4 ANÁLISE-ESTATÍSTICA

Os dados de fadiga cíclica e torcional foram analisados estatisticamente utilizando os testes de Koromov-Smirnov and t de Student, com nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS

Os valores da média e desvio padrão de tempo, número de ciclos, torque máximo e deflexão angular para a fratura dos instrumentos avaliados estão demonstrado na Tabela 1. Os resultados demonstraram que o instrumento Hyflex EDM 25.~ apresentou significativamente maior tempo, número de ciclos e maior deflexão angular para a fratura em comparação ao Protótipo Mk Life 25.06 ($P < 0,05$). Não houve diferença significativa entre os instrumentos com relação ao torque ($P > 0,05$). DP, Desvio Padrão. Diferente letras entre as colunas indica diferença estatística significativa entre os grupos ($P < 0,05$).

Tabela 1 - Média e Desvio padrão do tempo em segundos (seg), número de ciclos (NCF), Torque máximo (N.cm) e Deflexão angular para a fratura dos instrumentos avaliados

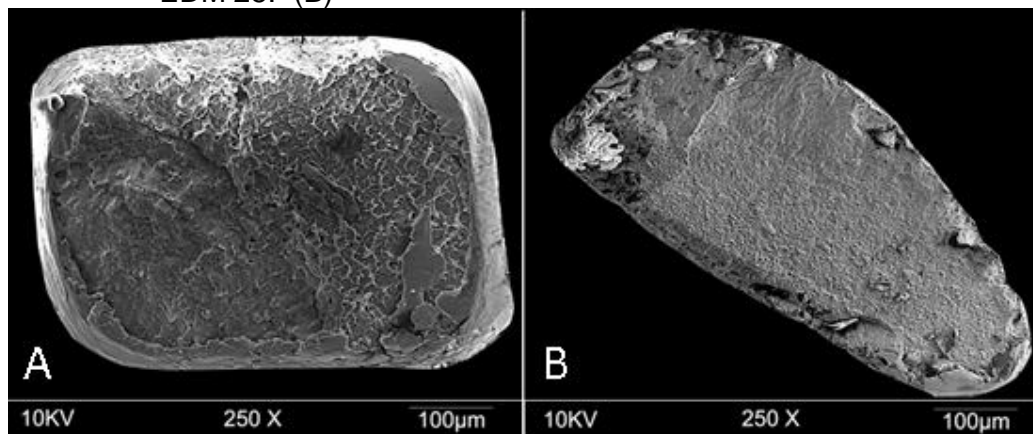
Instrumentos	Fadiga cíclica				Fadiga Torcional			
	Tempo (seg)		Ciclos (NCF)		Torque (N.cm)		Deflexão angular (°)	
	Médi	DP	Médi	DP	Médi	DP	Médi	DP
Hyflex	304,7 ^a	39,6	2.529 ^a	219,1	1.69 ^a	0.07	591,8 ^a	19,8
EDM	^a	4	^a	1		2	^a	1
Protótipo	165,9	19,2	1.337	86,8	1.66 ^a	0.06	463,9	16,5
MK Life	^b	0	^b	8		8	^b	6

Fonte: Elaborada pela autora.

4.1 AVALIAÇÃO EM MEV

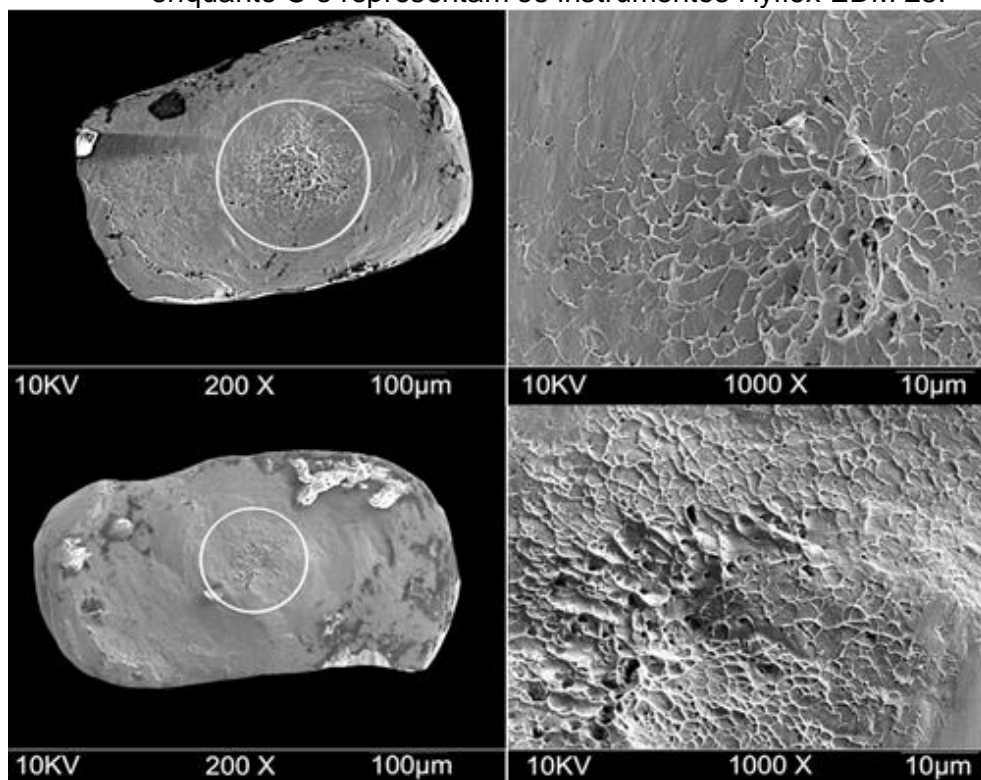
A avaliação de MEV das superfícies fraturadas dos instrumentos utilizados nos teste de fadiga cíclica e torcional realizadas demonstraram características típicas de cíclica (Figura 4) e torcional (Figura 5).

Figura 4 - Imagem representativa de MEV dos fragmentos dos instrumentos após o teste de fadiga cíclica: Protótipo Mk Life 25.06(A) Hyflex EDM 25.~(B)



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 5 - Imagem representativa de MEV dos instrumentos após o teste de torção. As imagens A e B representam o instrumento Protótipo Mk Life 25.06 em 200x e 1000x de magnificação, enquanto C e representam os instrumentos Hyflex EDM 25.~



Fonte: Elaborada pela autora.

5 DISCUSSÃO

Na última década diversos instrumentos de NiTi foram desenvolvidos para o preparo do canal radicular com o objetivo de proporcionar maior segurança no preparo e menor risco de desvio da trajetória do canal radicular (GALLOTINI, 2017). Por isso, os fabricantes propuseram diversas modificações no tamanho da ponta, conicidade, design da seção transversal, tipo de liga de NiTi, as quais possuem uma relação direta com a flexibilidade e resistência torcional dos instrumentos. (ALCALDE *et al.*, 2018; KAVAL; CAPAR; ERTAS, 2016).

O instrumento Hyflex EDM 25.~ é fabricado com uma tecnologia inovadora que promove o “derretimento/evaporação” da liga de NiTi por meio de uma corrente elétrica, sendo denominado EDM – Electrical Discharge Machining (PIRANI *et al.*, 2015). Diversos estudos prévios demonstraram que a associação da tecnologia EDM e ao tratamento térmico de memória controlada proporciona um instrumento com alta flexibilidade, resistência a fadiga cíclica e torcional em comparação com diversos instrumentos tratados termicamente (PEDULLA *et al.*, 2016; UYGUN *et al.*, 2020). Por isso, o objetivo deste trabalho comparar um protótipo desenvolvido no Brasil com o Hyflex EDM, o qual é considerado padrão ouro dos instrumentos rotatórios em nível mundial.

A metodologia de fadiga cíclica e torcional empregada neste estudo foram previamente descritas e publicadas em estudos prévios (ALCALDE *et al.*, 2017; ALCALDE *et al.*, 2018). O teste estático de fadiga cíclica foi utilizado com o objetivo de reduzir algumas variáveis, como a amplitude axial e a velocidade do movimento, as quais são subjetivas, pois podem ser realizadas de diferentes formas pelos clínicos (ALCALDE *et al.*, 2017; ALCALDE *et al.*, 2018; DE-DEUS *et al.*, 2010). Além disso, o teste estático proporciona uma situação de alto estresse mecânico para os instrumentos, possibilitando avaliar a resistência mecânica máxima dos mesmos (ALCALDE *et al.*, 2017). O torcional foi realizado de acordo com a especificação ISO 3630/1, como em estudos anteriores (ALCALDE *et al.*, 2017; ALCALDE *et al.*, 2018). A distância de 3 mm da ponta foi escolhida porque é o ponto mais suscetível à fratura durante o prepare de canais radiculares estreitos. Ademais, a rotação horária foi usada para todos os instrumentos porque essa é a direção de suas espirais.

Os resultados dos testes de fadiga cíclica demonstraram que os instrumentos Hyflex EDM 25.~ apresentaram maior tempo e número de ciclos para a fratura em

comparação com o protótipo Mk Life 25.06 ($P < 0,05$). Tendo em vista que estes foram confeccionados com a tecnologia EDM e com tratamento térmico de memória controlada, poderíamos especular que eles apresentariam resultados mecânicos semelhantes, o que não ocorreu. A provável explicação para os resultados deste estudo é a diferença de design entre os instrumentos, pois as diferentes conicidades e secções transversais afetaram diretamente as propriedades mecânicas dos instrumentos (ALCALDE *et al.*, 2018; LOPES *et al.*, 2013; MELO *et al.*, 200; PEDULLA *et al.*, 2016).

O instrumento Hyflex EDM 25.~ apresenta conicidade 0,08 mm no 5 mm iniciais da ponta do instrumento, reduzindo para 0,06 e 0,04 no 10 e 15 mm, respectivamente. Por outro lado, o protótipo Mk Life apresenta conicidade fixa de 0.06 mm ao longo dos 16 mm da sua parte ativa. Estudos prévios demonstraram que a maior conicidade afeta diretamente o volume de massa metálica, reduzindo a flexibilidade (ALCALDE *et al.*, 2018; SHEN *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2018). Além disso, a tipo de secção transversal também afeta o volume de metal (ALCALDE *et al.*, 2018; OZYUREK *et al.*, 2016; PEDULLA *et al.*, 2016), sendo assim, a diferença entre a secção em paralelogramo (Mk Life 25.06) e quadrangular (Hyflex EDM 25.~) poderiam justificar os resultados deste estudos. Provavelmente, o design e a conicidade do instrumento protótipo Mk Life proporcionaram um instrumento menos flexível que o Hyflex EDM, tornando-o mais susceptível ao aparecimento de trincas e a fratura durante o teste de fadiga cíclica.

O teste de torção teve o objetivo de avaliar o torque máximo e a deflexão angular para a fratura dos instrumentos. Os resultados demonstraram que o instrumento Hyflex EDM apresentou maior deflexão angular ($P < 0,05$), porém não houve diferença significativa em relação ao torque ($P > 0,05$). Assim como previamente citado, as diferenças no design apresentadas entre os instrumentos explicaria nossos resultados, pois as propriedades torcionais são alteradas de acordo com a conicidade e secção transversal dos instrumentos (SHEN *et al.*, 2013). Portanto, embora não tenha havido uma diferença no torque máximo, a maior deflexão angular do Hyflex EDM torna claro que o instrumento possui maior flexibilidade no teste de torção. De acordo com Zhang *et al.* (2010) a conicidade e a secção transversal modificam a distribuição de força ocasionada pelo movimento de torção, tornando-o o instrumento menos flexível e mais susceptível a fratura dependendo do seu design, o que explicaria nossos resultados.

A análise em MEV mostrou características típicas da fadiga cíclica e torcional para ambos os instrumentos testados: após o teste de fadiga cíclica, todos os instrumentos avaliados mostraram áreas de iniciação de trincas e zonas de sobrecarga, com inúmeras ondulações espalhadas na superfície fraturada; após o teste de torção, os fragmentos apresentaram marcas concêntricas de abrasão e ondulações no centro de rotação (ALCALDE *et al.*, 2017; ALCALDE *et al.*, 2018; DE-DEUS *et al.*, 2010).

O objetivo deste estudo foi uma comparação direta entre dois instrumentos com objetivo de avaliar qualidade do protótipo e suas limitações em comparação ao Hyflex EDM, tornando possível modificações futuras. Após a análise dos resultados deste estudo, torna-se claro a necessidade de comparação deste protótipo com outros sistemas rotatórios confeccionados com tratamento térmico do NiTi para evidenciar a qualidade e a resistência mecânica do mesmo. Além disso, estudos futuros com análise por meio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) poderá fornecer possíveis diferenças entre a liga de memória controlada e a tecnologia EDM utilizada no processo de fabricação, pois trabalhamos com a hipótese dos métodos e das ligas serem exatamente iguais, tendo em vista que foram confeccionados por diferentes fabricantes. Por isso, análises complementares irão permitir uma análise global e mais completa em relação ao instrumento protótipo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluindo, com as limitações deste estudo, o instrumento Hyflex EDM apresentou maior resistência a fadiga cíclica e maior deflexão angular em comparação com o instrumento protótipo Mk Life 25.06.

REFERÊNCIAS

- ALCALDE, M. P. *et al.* Cyclic and Torsional Fatigue Resistance of Reciprocating Single Files Manufactured by Different Nickel-titanium Alloys. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 43, n. 7, p. 1186-1191, July 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28527852/>. Acesso em: 3 nov. 2020.
- ALCALDE, M. P. *et al.* Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. **Clinical Oral Investigations**, Berlim, v. 22, n. 4, p. 1865-1871, May 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/164113>. Acesso em: 9 set. 2020.
- AMINSOBHANI, M.; MERAJI, N.; SADRI E. Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of Five Nickel Titanium Rotary File Systems with Different Manufacturing Techniques. **Journal of Dentistry**, Londres, v. 12, n. 9, p. 636-646, Sept. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4854742/>. Acesso em: 24 out. 2020.
- ASHWINI, T. S.; BHANDARI, S. The influence of cervical preflaring of root canal on determination of initial apical file using Gates Glidden drills, Protaper, Race and diamond-coated Galaxy files. **Journal of Contemporary Dentistry Practice**, Nova Deli, v. 13, n. 4, p. 554-8, July 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23151709/>. Acesso em: 29 set. 2020.
- BAHIA, M. G.; MELO, M. C.; BUONO, V.T. Influence of simulated clinical use on the torsional behavior of nickel-titanium rotary endodontic instruments. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, Saint Luis, v. 101, n. 5, p. 675-680, May 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1079210405003318>. Acesso em: 11 set. 2020.
- BUENO, C. S. P. *et al.* Fracture Incidence of WaveOne and Reciproc Files during Root Canal Preparation of up to 3 Posterior Teeth: A Prospective Clinical Study. **Journal of Endodontics**, Nova Iorque, v. 43, n. 5, p. 705-708, Mar. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28343932/>. Acesso em: 3 out. 2020.
- DE-DEUS, G. *et al.* Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 43, n. 12, p. 1063-1068, Dec. 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21080616/>. Acesso em: 28 ago. 2020.
- FROTA, M.F. *et al.* Comparison of cyclic fatigue and torsional resistance in reciprocating single-file systems and continuous rotary instrumentation systems. **Journal of Applied Oral Science**, Bauru, v. 56, p. 4, p. 269-275, Dec. 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25500924/>. Acesso em: 17 out. 2020.
- GALLOTINI, L. Shaping of the Root Canal System: A Multistep Technique. **Journal of Contemporary Dentistry Practice**, Nova Deli, v. 18, n. 9, p. 851-855, Sept. 2017. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Shaping-of-the-Root-Canal->

System%3A-A-Multistep-Gallottini/a84e4e8e5623ca85ec800b1b25c8794428d6a031.
Acesso em: 13 out. 2020.

GOMES, F. A. *et al.* Cyclic fatigue resistance of different continuous rotation and reciprocating endodontic systems. **Indian Journal of Dentistry Research**, v. 27, n. 3, p. 278-282, June 2016. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27411656/>. Acesso em: 26 set. 2020.

HAAPASALO, M.; SHEN, E. Evolution of Nickel-titanium instruments: from past to future. **Endodontic Topics**, Iowa, v. 29, n. 1, p. 3-17, Nov. 2013. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/etp.12049>. Acesso em: 19 out. 2020.

IBARROLA, J. L. *et al.* Effect of preflaring on Root ZX apex locators. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 25, n. 9, p. 625-626, Sept. 1999. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10687543/>. Acesso em: 14 set. 2020.

JARDINE A. P. *et al.* Shaping ability of rotatory or reciprocating instruments in curved canals: a micro-computed tomographic study. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v. 14, p. 30-31, Juny 2016. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/303915048_Shaping_ability_of_rotatory_or_reciprocating_instruments_in_curved_canals_a_micro-computed_tomographic_study. Acesso em: 21 out. 2020.

LOPES, H.P. *et al.* Comparison of the mechanical properties of rotary instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, or nickel-titanium alloy in R-phase. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 39, n. 4, p. 516–520, Apr. 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23522548/>. Acesso em: 5 set. 2020.

KAVAL, M. E.; CAPAR, I. D.; ERTAS, H. Evaluation of the Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Novel Nickel-Titanium Rotary Files with Various Alloy Properties. **J Endod.**, v. 42, n. 12, p. 1840-1843, 2016. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27776878/>. Acesso em: 24 out. 2020.

MELO, M. C. *et al.* Dimensional characterization and mechanical behaviour of K3 rotary instruments. **International Endodontic Journal**, Londres, v. 41, n. 4, p. 329-338, Apr. 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2591.2007.01368.x>. Acesso em: 18 out. 2020.

PEDULLA, E. *et al.* Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 42, n. 1, p. 156-159, Jan. 2016. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26586518/>. Acesso em: 16 set. 2020.

PEREIRA, É. S. *et al.* Behavior of nickel-titanium instruments manufactured with different thermal treatments. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 41, n. 1, p. 67-71, Jan. 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25112810/>. Acesso em: 2 out. 2020.

PIRANI, C. *et al.* Hyflex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined Niti Rotary instruments.

International Endodontic Journal, Londres, v. 49, n. 5, p. 483-493, May 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26011181/>. Acesso em: 2 nov. 2020.

SHEN, Y. *et al.* Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 39, n. 2, p. 163-172, Feb. 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23321225/>. Acesso em: 19 out. 2020.

SILVA, E. *et al.* Cyclic fatigue using severely curved canals and torsional resistance of thermally treated reciprocating instruments. **Clinical Oral Investigations**, Berlim, v. 22, n. 7, p. 2633-2638, Sept. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322878617_Cyclic_fatigue_using_severely_curved_canals_and_torsional_resistance_of_thermally_treated_reciprocating_instruments. Acesso em: 22 set. 2020.

SIQUEIRA, J. F. *et al.* Clinical outcome of the endodontic treatment of teeth with apical periodontitis using an antimicrobial protocol. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, Saint Luis, v. 106, n. 5, p. 757-762, Nov. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18718786/>. Acesso em: 6 out. 2020.

SIQUEIRA, J. F.; RÔÇAS, I. N. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. **Journal of Endodontics**, Nova lorque, v. 34, n. 11, p. 1291-301, Nov. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18928835/>. Acesso em: 13 out. 2020.

UYGUN, A. D. *et al.* Comparison of the cyclic fatigue resistance of hyflex EDM, vortex blue, protaper gold, and onecurve nickel-Titanium instruments. **Nigerian journal of clinical practice**, Mumbai, v. 23, n.1, p. 41-45, Jan. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31929205/>. Acesso em: 4 set. 2020.

ZHANG, E. W.; CHEUNG, G. S.; ZHENG, Y. F. Influence of cross-sectional design and dimension on mechanical behavior of nickel-titanium instruments under torsion and bending: a numerical analysis. **Journal of endodontics**, Nova lorque, v. 36, n. 8, p. 1394-8, Aug. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0099239910003894>. Acesso em: 14 out. 2020.